

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITARIA E
AMBIENTAL**

Guilherme Cardoso Vieira

**ÁVALIAÇÃO DO BIOSSÓLIDO GERADO EM ETE DE LODOS
ATIVADOS POR AERAÇÃO PROLONGADA**

Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa
Catarina para Conclusão do Curso de Graduação
em Engenharia Sanitária e Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Flavio Ruben Lapolli

Florianópolis

2010

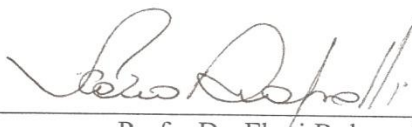
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO BIOSSÓLIDO GERADO EM ETE DE LODOS ATIVADOS
POR AERAÇÃO PROLONGADA**

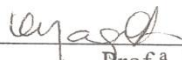
Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para a conclusão do Curso
de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental-TCC II.

GUILHERME CARDOSO VIEIRA

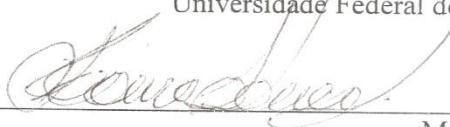
Banca Examinadora:



Prof., Dr. Flavi Rubens Lapolli,
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.ª, Dr.ª Maria Elisa Nagel,
Universidade Federal de Santa Catarina



Mauro Luiz Lucas
Engenheiro Sanitarista e Ambiental

FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZAMBRO/2010

RESUMO

A crescente preocupação a respeito do que fazer com os rejeitos gerados em uma estação de tratamento de esgotos veio trazer pesquisas de vários métodos de tratamento, dentro deles a caleação foi o escolhido para o presente trabalho. O lodo de um decantador secundário pode ser reciclado, transformando-o em um poderoso recondicionante a ser utilizado na agricultura e na recuperação de áreas degradadas, além de transformar um passivo ambiental em um recurso a ser utilizado na recuperação de áreas degradadas. A análise financeira pode nos mostrar a potencialidade de economia para a empresa, embasando a mudança no tratamento do lodo gerado.

Palavras-chave: Biossólido. Caleação. Lodo na Agricultura.

RELAÇÃO DE QUADROS

Quadro 2.1. Origem dos subprodutos sólido gerados no tratamento de esgotos.	7
-----------------------------------------------------------------------------------------	---

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 2.1	Distribuição dos sólidos no lodo segundo o tamanho e a fração orgânica.....	13
Figura 4.1.	Esquema da Estação de Esgotos Sanitários - ETE Costão do Santinho.	43
Figura 4.2.	Fluxograma ETE Costão do Santinho - geração dos esgotos e unidade de tratamento preliminar.....	44
Figura 4.3.	Fluxograma ETE Costão do Santinho – Tratamento Secundário e Terciário.	45
Figura 4.4.	Vista do Tanque de Aeração.....	47
Figura 4.5.	Aspecto do Decantador Mecanizado.	48
Figura 4.6.	Filtros de Pressão.....	49
Figura 4.7.	Sistema Ultra Violeta e Lago de controle biológico.....	50
Figura 4.8.	Tanque de Adensamento de Lodo.....	51
Figura 4.9.	Leitos de Secagem de Lodo.....	52
Figura 4.10.	Local de Cura do Biossólido.....	53
Figura 4.11.	Lodo com umidade adequada a Caleação.....	55

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 2.1. Características do lodo ao longo das diversas etapas de tratamento	9
Tabela 2.2. Faixas de densidades e massas específicas de diversos tipos de lodo.....	15
Tabela 2.3. Valores usuais de densidade de lodo.	15
Tabela 2.4. Faixas de captura de sólidos no tratamento de lodo.	17
Tabela 2.5. Concentração média de alguns metais no ambiente.	21
Tabela 2.6. Remoção de metais em relação ao tipo de processo biológico de tratamento de efluentes.....	22
Tabela 2.7. Teores de metais em alguns lodos de ETE's Brasileiras. ..	23
Tabela 2.8. Teores de metais pesados (mg/kg) de alguns resíduos orgânicos coletados no estado do Paraná.....	24
Tabela 2.9. Tempo de sobrevivência de organismos patogênicos no solo.....	26
Tabela 2.10. Concentração máxima de metais em lodos de esgotos utilizados na agricultura no Brasil e no mundo (mg/kg, base seca).	39
Tabela 3.1. Tete inicial de Caleação para acompanhamento do pH.....	54
Tabela 4.2. Quantidade de lodo gerado na ETE.....	56
Tabela 4.3. Comparação de nutrientes	57
Tabela 4.4. Tabela comparativa das características do Biossólido gerado (mg/kg, base seca).....	59

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	3
1.1.Objetivos.....	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1. Tratamento de Efluentes Sanitários.....	5
2.2. Produção de lodo.....	6
2.2.1. Tipos de subprodutos sólidos gerados	6
2.2.2. Características do lodo em cada etapa do tratamento. ...	7
2.2.3. Quantidade de lodos gerado.	13
2.2.4. Produção de lodo primário.....	17
2.2.5. Produção de lodo secundário.	18
2.3 PRINCIPAIS CONTAMINANTES DO LODO.	18
2.3.1. Metais Pesados.....	20
2.3.2. Agentes Patogênicos.	24
2.4. PROCESSOS DE HIGIENIZAÇÃO DE LODOS.	27
2.4.1. Higienização Biológica.	27
2.4.2. Higienização Física.....	29
2.4.3. Higienização Química.	29
2.5. Disposição Final.	30
2.5.1. Incineração.....	31
2.5.2. Landfarming.....	31
2.5.3. Aterro e Co-disposição do lodo com lixo urbano.....	32
2.5.4. Reciclagem Agrícola.....	34
2.6 Legislação	36
3. METODOLOGIA	41
3.1. Descrição geral da organização do trabalho experimental. .	41
3.2. Procedimentos de coleta de dados.	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
4.1. Área a ser implantado o estudo	43
4.1.1 Tratamento Primário.....	46
4.1.2 Tratamento Secundário	46
4.1.3. Tratamento terciário.....	48
4.2. Teste de Caleação.....	54
4.3. Quantificação do biossólido gerado.....	55
4.4. Nutrientes presentes no biossólido.	56
4.5. Contaminantes no Biossólido.....	58
4.6. Análise financeira.	60
4.7. conclusões e Considerações Finais.....	61
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A crescente preocupação em relação à qualidade ambiental, vem trazendo também maiores exigências por partes da sociedade e das agências reguladoras que por consequência é refletido nos gestores dos sistemas de saneamento. Como sabemos apenas uma pequena parte da população hoje é atendida por tratamento de esgotos, e devido a isso ha uma expectativa de aumento no número de estações de tratamento e consequente aumento na produção de lodo (rejeito gerado no tratamento).

Esse tema devido a sua importância já foi tratado na Agenda 21 principal instrumento aprovado na Conferência Mundial de Meio Ambiente – Rio 92, que inclui em um de seus capítulos o tema “Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas aos esgotos”. Nele há algumas orientações principais: redução da produção de resíduos, o aumento ao máximo da reutilização e da reciclagem, a promoção de depósitos de tratamento ambientalmente saudáveis e finalmente a ampliação do alcance dos serviços que se ocupam com os resíduos.

O termo “lodo” tem sido utilizado para denominar os subprodutos do tratamento de esgoto. Nos processos biológicos de tratamento, parte da matéria orgânica é absorvida e convertida, fazendo parte da massa microbiana, denominada genericamente de lodo biológico ou secundário, composto principalmente de sólidos biológicos, e por esta razão denominado de biossólido (VON SPERLING, 2001) .

Segundo von Sperling (2001) o termo “biossólido” é uma forma de ressaltar os seus aspectos benéficos, valorizando a utilização produtiva, em comparação com a mera disposição final improdutiva, por meios de aterros, disposição superficial no solo ou incineração.

O tratamento do lodo está diretamente ligado com a disposição final, e torna-se específico de acordo com as características do produto gerado.

Em geral as características do lodo são variáveis, porém é um material rico em matéria orgânica (40-60%), em nitrogênio e em micronutrientes como zinco, manganês e cobre (CHENG et al., 2007).

Com essas características o lodo tratado com cal pode ser empregado como condicionante do solo na agricultura e em recuperação

de áreas degradadas, pelas características alcalinas, melhoria na retenção de umidade, além da diminuição do uso de fertilizantes industriais.

1.1.OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é o de verificar a eficiência do tratamento do lodo secundário, proveniente da ETE Costão do Santinho submetido a Caleação. Para isto serão feitas análises das características do lodo. Para a poluição por metais pesados foram escolhidos como indicadores os metais chumbo, zinco, cromo, cobre, cádmio, mercúrio, arsênio, selênio, bário e molibdênio indicado pela Resolução N.375 do CONAMA. Como indicadores patogênicos foram escolhidos coliformes fecais, coliformes totais, salmonela e ovos de helmintos, por suas características de infectabilidade e resistência. Como indicadores agronômicos serão feitas análises de micro e macro nutrientes, matéria orgânica e umidade no lodo e no solo a ser utilizado o bio sólido, para correto balanço de nutrientes e correção de acidez do solo.

Para embasar a modificação no sistema de tratamento do lodo, para o uso como fertilizante, será efetuado uma análise financeira comparando o fertilizante utilizado atualmente, a destinação final utilizada hoje e a produção do bio sólido.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS

A estação de tratamento de esgotos é fator primordial para a preservação do meio ambiente e para a melhoria da qualidade de vida nas áreas urbanas, pois é através do correto tratamento dos efluentes sanitários gerados, que o aspecto estético, a saúde pública e a vida aquática nos corpos de água serão garantidas (JORDÃO; PESSÔA, 1995).

Em corpos d'água na natureza ocorre o que é denominado de autodepuração, esse fenômeno consiste em transformar a matéria orgânica em produtos mineralizados inertes por mecanismos biológicos naturais.

O tratamento biológico de esgotos nada mais é que acelerar estes fenômenos, introduzindo oxigênio, controlando pH e temperatura além de outros parâmetros específicos. Em suma, são controlados as condições para que ocorra o aumento da taxa de depuração.

O desenvolvimento de novas tecnologias mais eficientes e viáveis são cada vez mais importantes, visto que o tratamento inadequado dos esgotos nos municípios está ligado diretamente a diversos problemas ambientais e de saúde humana.

Muitos são os tipos de tratamentos hoje utilizados, podendo ou não serem combinados. Abaixo alguns exemplos de tratamentos biológicos:

- Tanque séptico: muito utilizado em residências unifamiliares.
- Lagoas de estabilização: requerem um baixo grau de tecnologia, custo de implantação baixo, pouca manutenção e exigem grandes áreas.
- Reatores Aeróbios: pequena área, alta eficiência, alto grau de tecnologia, custo de implantação e operação alto.
- Reatores Anaeróbios: pequena área, custo de implantação alto e operação baixo, com eficiência limitada.

Como resultado dos tratamentos de esgotos tem-se o efluente tratado, que pode ser utilizado na irrigação, despejado em corpos hídricos ou infiltrados no solo, e seus resíduos denominados de lodo. A destinação final dos rejeitos do tratamento é o tema central deste,

trabalho em específico sua destinação para a agricultura. Como poderá ser observado posteriormente, a destinação dos resíduos está diretamente ligada com as características do esgoto que lhe dá origem e o tipo de tratamento utilizado.

2.2. PRODUÇÃO DE LODO

2.2.1. *Tipos de subprodutos sólidos gerados*

Segundo Von Sperling (2001) de maneira geral os sólidos gerados no tratamento de esgotos são: material gradeado, areia, espuma, lodo primário, lodo secundário, lodo químico. Apesar de o lodo possuir mais de 95% de água, por convenção o chamamos de fase sólida, distinguindo do efluente tratado o qual é chamado de fase líquida.

Cada um dos subprodutos possui como características serem gerados em determinadas fases do tratamento. O quadro a seguir nos dá um esclarecimento geral sobre o assunto.

Quadro 2.1. Origem dos subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos

Subproduto sólido	Origem
Sólidos Grosseiros	<ul style="list-style-type: none"> • Gradeamento
Areia	<ul style="list-style-type: none"> • Desarenador
Escuma	<ul style="list-style-type: none"> • Desarenador • Decantador primário • Decantador secundário • Lagoa de Estabilização • Reator anaeróbio
Lodo Primário	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque Séptico • Decantador Primário
Lodo Biológico Aeróbio (não estabilizado)	<ul style="list-style-type: none"> • Lodos Ativados Convencional • Reatores Aeróbios com Biofilmes - Alta Carga
Lodo Biológico Aeróbio (estabilizado)	<ul style="list-style-type: none"> • Lodos ativados – Aeração Prolongada • Reatores Aeróbios com Biofilmes – baixa carga
Lodo Biológico Anaeróbio (estabilizado)	<ul style="list-style-type: none"> • Lagoas de Estabilização • Reatores Anaeróbios
Lodo Químico	<ul style="list-style-type: none"> • Decantador Primário com Precipitação Química • Lodos Ativados com Precipitação Química de fósforo

Fonte: adaptado de Von Sperling (2001)

2.2.2. Características do lodo em cada etapa do tratamento.

A medida em que o efluente atravessa as diversas fases do tratamento suas características vão se alterando. As principais alterações são:

- Adensamento e desidratação: aumento da concentração de sólidos totais e redução do volume de lodo.
- Digestão: redução da carga de sólidos totais.

Para facilitar o entendimento, essas alterações podem ser vistas na Tabela 2.1., a qual mostra a evolução da carga e da concentração ao longo das etapas de tratamento do lodo. A carga é apresentada em termos de carga per capita e ao final podemos observar o volume per capita a ser disposto.

Tabela 2.1. Características do lodo ao longo das diversas etapa de tratamento

Sistema	Lodo removido da fase líquida		Lodo adensado		Lodo digerido				Lodo desidratado			
	Massa de lodo (gSS/hab.d)	Teor de sólidos secos (%)	Massa de lodo (gSS/hab.d)	Processo	Teor de sólidos secos (%)	Massa de lodo (gSS/hab.d)	Processo	Teor de sólidos secos (%)	Massa de lodo (gSS/hab.d)	Processo	Teor de sólidos secos (%)	Volume de lodo (L/hab.d)
Tratamento primário convencional	35-45	2-6	35-45	Gravidade	4-8	25-28	anaeróbia	4-8	25-28	Leito sec.	35-45	0,05-0,08
									25-28	Filtro	30-40	0,06-0,09
									25-28	pren.	25-35	0,07-0,11
									25-28	Centrifuga Filt. correia	25-40	0,06-0,11
Tratamento Primário (tanque séptico)	20-30	3-6	-	-	-	-	-	-	20-30	Leito sec.	30-40	0.05-0,10
Lagoa Facultativa	20-45	15-20	-	-	-	-	-	-	20-45	Leito sec.	30-40	0,05-0,14
Lagoa anaeróbia	6-10	7-12	-	-	-	-	-	-	6-10	Leito sec.	30-40	0,015-0,03
Lagoa facultativa Total	26-55	-	-	-	-	-	-	-	26-55	Leito sec.	30-40	0,06-0,17
Lagoa aerada facultativa	8-13	6-10	-	-	-	-	-	-	8-13	Leito sec.	30-40	0,02-0,04
Lagoa aera. mist. compl. Lagoa sedim.	11-13	5-8	-	-	-	-	-	-	11-13	Leito sec.	30-40	0,025-0,04
Tq. Séptico + Filtro Anaer.	20-30	3-6	-	-	-	-	-	-	20-30	Leito sec.	30-40	0,05-0,10
Tq. Séptico	7-9	0,5-4,0	-	-	-	-	-	-	7-9	Leito sec.	30-40	0,02-0,03
Filtro Anaeróbico Total	27-39	1,4-5,4	-	-	-	-	-	-	27-39	Leito sec.	30-40	0,07-0,13
Lodos Ativados convenc.	35-45	2-6	35-45	Gravidade	4-8	25-28	Anaeróbia	4-8	-	-	-	-
Lodo Primário	25-35	0,6-1,0	25-35	Gravidade Flotação	2-3 2-5	16-22	Aeróbia	1,5-4,0	-	-	-	-

Lodo Secundário	60-80	1-2	60-80	Centrifuga Gravidade Centrifuga	3-7 3-7 4-8	38-50	Anaeróbia	3-6	38-50	Leito sec. Filtr. Prens. Centrifuga Filt Correia	30-40 25-35 20-30 20-25	0,10-0,17 0,11-0,20 0,13-0,25 0,15-0,25
Lodo Misto												
Lodos Ativados (aeração prolongada)	40-45	0,8-1,2	40-45	Gravidade Flotação Centrifuga	2-3 3-6 3-6	-	-	-	40-45	Leito sec. Filtr. Prens. Centrifuga Filt Correia	25-35 20-30 15-20 15-20	0,11-0,17 0,13-0,21 0,19-0,29 0,19-0,29
Filtro Bio. De Alta Carga	35-45	2-6	35-45	Gravidade	4-8	-	-	-	38-47	Leito sec.	30-40	0,09-0,15
Lodo Primário	20-30	1-2,5	20-30	Gravidade	1-3	-	-	-		Filtr.	25-35	0,10-0,18
Lodo Secundário	55-75	1,5-4	55-75	Gravidade	3-7	38-47	Anaeróbia	3-6		Prens.	20-30	0,12-0,22
Lodo Misto										Centrifuga Filt Correia	20-25	0,14-0,22
Bio. Fitro Aer. Sub.	35-45	2-6	35-45	Gravidade	4-8	25-28	Anaeróbio	4-8	-	-	-	-
Lodo Primário	25-35	0,6-1	25-35	Gravidade	2-3	16-22	Aeróbio	1,5-4	-	-	-	-
Lodo Secundário				Flotação	2-5							
	60-80	1-2	60-80	Centrifuga	3-7	38-50	Anaeróbio	3-6	38-50	Leito sec.	30-40	0,10-0,17
Lodo Misto				Gravidade	3-7					Filtr.	25-35	0,11-0,20
				Centrifuga	4-8					Prens.	20-30	0,13-0,25
										Centrifuga	20-25	0,15-0,25
										Filt Correia		
Reator UASB	12-18	3-6	-	-	-	-	-	-	12-18	Leito sec.	25-45	0,03-0,06
										Filtr.	35-45	0,03-0,07
										Prens.	20-30	0,04-0,09
										Centrifuga	20-30	0,04-0,09
										Filt Correia		
UASB + Lodos Ativados	12-18	3-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lodo	8-14	3-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

anaeróbio	20-32	3-4	-	-	-	-	-	-	20-32	Leito sec.	30-45	0,04-0,11
Lodo Aeróbio										Filtr.	25-40	0,05-0,13
Lodo Misto										Prens.	20-30	0,07-0,16
										Centrifuga	20-30	0,07-0,16
										Filt		
										Correia		
UASB + Rea												
era.c/ biofil.	12-18	3-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lodo	6-12	3-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
anaeróbio	18-30	3-4	-	-	-	-	-	-	18-30	Leito sec.	30-45	0,04-0,10
Lodo Aeróbio										Filtr.	25-40	0,045-
Lodo Misto										Prens.	20-30	0,12
										Centrifuga	20-30	0,06-0,15
										Filt		0,06-0,15
										Correia		

Fonte: adaptado de Von Sperling (2001)

2.2.3. Quantidade de lodos gerado.

Para expressar a quantidade de lodo em massa e em volume deve-se antes, considerar algumas relações fundamentais, que são apresentadas a seguir.

- a) relação entre teor de sólidos e teor de umidade.

$$\text{Umidade (\%)} = 100 - \text{Sólidos Secos (\%)}$$

(2.1)

Portanto um lodo com 5% de sólidos secos possui uma umidade de 95%, e conseqüentemente a cada 100 kg de lodo temos apenas 5 kg de sólidos secos.

A água presente no lodo pode ser dividida em quatro classes distintas, de acordo com a facilidade de separação (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

1. Água livre: pode ser removida por gravidade (adensamento, flotação).
 2. Água adsorvida: pode ser removida por força mecânica ou pelo uso de floculante.
 3. Água capilar: mantém adsorvido ao sólido por força capilar, distinguindo-se da água adsorvida pela necessidade de uma força maior para sua separação.
 4. Água celular: é parte da fase sólida e só pode ser removida através de uma mudança no estado de agregação da água, isto é, através de congelamento ou evaporação.
- b) Sólidos totais, voláteis e fixos.

O lodo é composto de sólidos e água. A distribuição dos sólidos é apresentada no esquema a seguir:

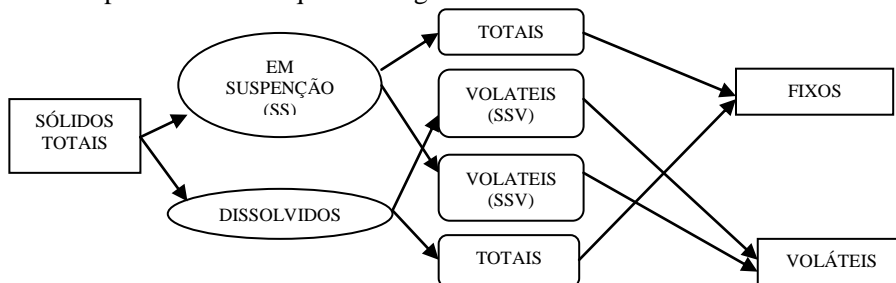


Figura 2.1 Distribuição dos sólidos no lodo segundo o tamanho e a fração orgânica.

Essa relação é de suma importância, pois a partir dela pode-se ter uma indicação da fração orgânica do lodo além do nível de digestão do mesmo. Para lodos não digeridos a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais (SV/ST) está entre 0,75 e 0,80 enquanto que para lodos digeridos esses valores situam-se entre 0,60 e 0,65.

Para o cálculo de sólidos, pode-se na prática, admitir que o valor de sólidos totais ou secos é o mesmo que de sólidos em suspensão, pois a maioria dos sólidos totais são sólidos em suspensão.

c) Destruição de sólidos voláteis

O processo de digestão remove os sólidos orgânicos biodegradáveis do lodo. Desta forma, pode-se dizer que ocorreu uma remoção ou uma destruição dos sólidos voláteis (SV). A quantidade de sólidos fixos permanece inalterada. A eficiência da digestão na remoção de SV situa-se entre 40 a 45%.

d) Densidade do lodo

A densidade das partículas de sólidos fixos situa-se em torno de 2,5 (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 2000), enquanto a densidade de sólidos voláteis é próxima de 1,0 e a densidade da água é naturalmente 1,0 (VON SPERLING, 2001).

A densidade dos sólidos pode ser descrita pela equação:

$$Densidade\ sólidos = \frac{1}{\frac{SF/ST}{2,5} + \frac{SV/ST}{1,0}}$$

(2.2)

Por sua vez, a densidade do lodo (mistura sólidos+água) pode ser alcançada por:

$$Densidade\ lodo = \frac{1}{\frac{Fração\ sól.no\ lodo}{Densidade\ do\ lodo} + \frac{Fração\ água\ no\ lodo}{1,0}}$$

(2.3)

As frações são inseridas nas fórmulas acima em decimais. Aplicando-se as relações anteriores nos diversos tipos de lodos tem-se como resultado a Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Faixas de densidades e massas específicas de diversos tipos de lodo.

Tipo de Lodo	Relação SV/ST	% sólidos secos	Densidade dos sólido	Densidade Do lodo	Massa específica (Kg/m³)
Lodo Primário	0,75-0,80	2-6	1,14-1,18	1,003-1,01	1003-1010
Lodo Secundário Anaeróbio	0,55-0,60	3-6	1,32-1,37	1,01-1,02	1010-1020
Lodo Secundário Aeróbio (LA convencional)	0,75-0,80	0,6-1,0	1,14-1,18	1,001	1001
Lodo Secundário Aeróbio (aeração prolongada)	0,65-0,70	0,8-1,2	1,22-1,27	1,002	1002
Lodo de Lagoa de Estabilização	0,35-0,55	5-20	1,37-1,64	1,02-1,07	1020-1070
Lodo Primário Adensado	0,75-0,80	4-8	1,14-1,18	1,006-1,01	1006-1010
Lodo secundário Adensado (LA convencional)	0,75-0,80	2-7	1,14-1,18	1,003-1,01	1003-1010
Lodo secundário Adensado (aeração prolongada)	0,65-0,70	2-6	1,22-1,27	1,004-1,01	1004-1010
Lodo misto adensado	0,75-0,80	3-8	1,14-1,18	1,004-1,01	1004-1010
Lodo misto digerido	0,60-0,65	3-6	1,27-1,32	1,007-1,02	1007-1020
Lodo desidratado	0,60-0,65	20-40	1,27-1,32	1,05-1,1	1050-1100

Fonte: adaptado de Von Sperling (2001).

Como pode se observar os valores são bem próximos aos da água, no entanto os valores reportados por outras literatura são um pouco mais elevados que a metodologia acima. Os valores usualmente reportados são:

Tabela 2.3. Valores usuais de densidade de lodo.

Tipo de Lodo	Densidade	Massa específica (Kg/m³)
Lodo Primário	1,02 - 1,03	1020 - 1030
Lodo Secundário Anaeróbio	1,02 - 1,03	1020 - 1030
Lodo Secundário Aeróbio	1,005 - 1,025	1005 - 1025
Lodo Adensado	1,02 - 1,03	1020 - 1030
Lodo digerido	1,03	1030
Lodo desidratado	1,05 - 1,08	1050 - 1080

Fonte: adaptado de Von Sperling (2001).

e) Expressão da concentração de sólidos secos

A concentração de sólidos no lodo é dada na fórmula de sólidos secos, ou seja exclui-se a parte representante da água. A concentração é dada em mg/l ou em % sendo o ultimo o mais usual, sendo que ambos se relacionam da seguinte maneira:

$$\text{Concentração (\%)} = \frac{\text{Concentração (mg/L)} \times 100}{1 \times 10^6 (\text{mg/kg}) \times \text{Massa específica (kg/L)}} \quad (2.4)$$

Porém como na maior parte dos processos a massa específica do lodo é bem próxima de 1,0 a Equação 2.4 pode ser simplificada para:

$$\text{Concentração (\%)} = \frac{\text{Concentração (mg/L)}}{10.000} \quad (2.5)$$

Portanto uma concentração de 40.000 mg/L pode também ser expressa como 4% de sólidos secos ou 1m³ de lodo possui 40kg de sólidos secos, ou 40.000 mgST/l.

f) Relação entre vazão, concentração e carga

O dimensionamento das etapas do tratamento e disposição final do lodo é feito tendo por base a vazão de lodo ou, em muitos casos, a carga de sólidos secos. Essas relações são agora apresentadas:

$$\text{Vazão de lodo} = \frac{\text{Carga}}{\text{concentração}} \quad (2.6)$$

$$\text{Vazão de lodo} = \frac{\text{Carga SS } (\frac{kgSS}{d})}{\frac{\text{Sólidos secos (\%)}}{100} \times \text{Massa Específica lodo (kg de lodo / m³ lodo)}} \quad (2.7)$$

Novamente, como em praticamente todas as etapas a massa específica do lodo é bem próxima de 1,0 podendo então simplificar a equação para:

$$\text{Vazão de lodo} = \frac{\text{Carga SS } (\frac{kgSS}{d})}{\text{sólidos secos (\%)} \times 100} \quad (2.8)$$

Com esses dados pode-se calcular aproximadamente a vazão de lodo, a carga e a concentração.

g) Captura de sólidos

No processo de separação da parte líquida do lodo, partes dos sólidos podem ser carregados e junto com eles parte da DBO, sendo assim este efluente deve ser encaminhado de volta ao início da estação onde são misturados aos esgotos afluentes para novo tratamento, impedindo assim que contaminem os corpos receptores.

A captura de sólidos é a incorporação dos sólidos ao lodo. Usualmente ela é expressa em percentagem (%), retratando a eficiência de incorporação dos sólidos ao lodo e que seguirá para as etapas futuras de tratamento.

$$\text{Carga SS efluente (kgSS/d)} = \text{Captura sól.} \times \text{Carga SS aflu. (kgSS/d)} \quad (2.9)$$

$$\text{Carga SS no drenado (kgSS/d)} = 1 - \text{Captura sól.} \times \text{Carga SS aflu. (kgSS/d)} \quad (2.10)$$

Para a elucidação da questão a Tabela 2.4 mostra alguns valores típicos para a captura de lodo.

Tabela 2.4. Faixas de captura de sólidos no tratamento de lodo

Tipo de Lodo	Adensamento		Digestão		Desidratação	
	Processo	Captura (%)	Processo	Captura (%)	Processo	Captura (%)
Lodo Primário	Gravidade	85 – 92	Digest. Sec.	95	Leito	90 – 98
					secagem	
					Filtro	90 – 98
					Prensa	
					Centrífuga	90 – 95
Lodo Secundário	Gravidade	80 – 95	Digest. Sec.	90 – 95	Filtro	90 – 95
					Correias	
					Leito	90 – 98
					secagem	
					Filtro	90 – 98
Lodo misto	Gravidade	80 – 90	Digest. Sec.	90 – 95	Prensa	90 – 95
					Centrífuga	
					Filtro	90 – 95
					Correias	
					Leito	90 – 98
Lodo misto	Centrífuga	80 – 95	Digest. Sec.	90 – 95	secagem	90 – 98
					Filtro	90 – 95
					Prensa	90 – 95
					Centrífuga	
					Filtro	90 – 95
Lodo misto	Gravidade	80 – 90	Digest. Sec.	90 – 95	Correias	
					Leito	90 – 98
					secagem	90 – 98
					Filtro	90 – 95
					Prensa	90 – 95

Fonte: adaptado de EPA (1987), apud Von Sperling (2001).

2.2.4. Produção de lodo primário

Para calcular a produção de lodo primário em uma ETE é necessário conhecer a eficiência de remoção de SS de seu decantador primário, essa eficiência pode como já vimos, ser entendida como a captura de sólidos no decantador e suas faixas típicas variam entre E 60 a 65%.

A carga de lodo produzida no decantador primário é calculada como se segue:

$$Carga\ SS\ Lodo\ prim. = E \times Carga\ SS\ aflu.$$

(2.11)

$$Carga\ SS\ Lodo\ prim. = E \times Q \times SS\ aflu.$$

(2.12)

Com o auxílio da expressão 2.7 e a Tabela 2.2 é possível calcular a produção volumétrica de lodo primário.

2.2.5. Produção de lodo secundário.

O lodo secundário (biológico) é constituído de duas frações: sólidos inertes do esgoto bruto, que são sólidos não biodegradáveis acumulados no sistema e sólidos biológicos produzidos no sistema à custa da remoção da matéria orgânica.

Com a vazão de esgoto do sistema em questão, sua quantidade de sólidos totais e os dados anteriormente apresentados é realizado uma estimativa aproximada da produção de lodo no decantador secundário e nas demais fases do tratamento de lodo.

Pode-se descontar ainda do total a parcela que sai com o efluente final, já que na prática não se tem uma eficiência de 100% nos decantadores. Com isso tem-se que a quantidade de lodo a ser tratado é igual à quantidade de lodo produzido subtraindo-se a parte de lodo que escapa com o efluente final.

2.3 PRINCIPAIS CONTAMINANTES DO LODO.

O desconhecimento dos efeitos do lodo de esgoto na comunidade de organismos, na dinâmica de carbono e nitrogênio, nas propriedades físicas e químicas, no comportamento dos metais pesados, dos compostos orgânicos persistentes e dos patógenos humanos nos solos tropicais é o principal problema relacionado com sua utilização agrícola (BETTIOL e CAMARGO 2006).

Portanto com a certeza de que a aplicação de biossólidos pode gerar alterações nessas frações do ecossistema, devemos identificá-las para averiguar se terão implicações negativas para os agroecossistemas, para os organismos, para o desenvolvimento das culturas e para o meio ambiente, causando contaminação do solo o ar e a água.

Para Farias e Rodrigues (2001), um dos principais fatores que podem limitar o uso do biossólido como fertilizante orgânico e/ou condicionador de solos é o seu teor de contaminantes (principalmente os metais pesados, patógenos e nitratos).

A concentração de metais pesados no lodo é muitas vezes significativa. Do volume de esgoto que entra na estação, 1%

corresponde ao volume de lodo produzido e este contém entre 50 e 80% da quantidade de metais que entra na estação (LESTER et al, 1983).

Segundo Von Sperling (2001), em proporções variáveis alguns componentes das águas residuárias, ao passarem pelo tratamento concentrasse no lodo. O lodo apresenta componentes orgânicos e minerais que conferem características fertilizantes ao solo e outros componentes, que, pelo seu risco sanitário e ambiental, são indesejáveis. Estes componentes indesejáveis podem ser genericamente agrupados em:

- Metais pesados
- Poluentes orgânicos variados
- Microorganismos patogênicos

A presença destes contaminantes no lodo é muito variável dependendo da origem e composição do esgoto bruto. Os esgotos originados puramente de residências terão um teor de metais pesados muito baixos ou nulos, enquanto que um efluente que recebe também contribuições industriais terá um teor de metais pesados mais elevado. Comparando-se duas populações, uma de baixa renda e outra de alta renda, a de alta renda, comprovadamente, possui em sua fauna intestinal uma baixa carga de patógenos diferente da baixa que possui uma carga muito maior, carregando assim as mesmas características para seus esgotos sanitários.

A gestão do lodo deve levar em consideração essas características, pois para a geração de um biossólido de qualidade, que não vá trazer prejuízos para a saúde humana e para o meio ambiente, é preciso ter um alto controle de seus componentes. Por sua vez deve-se ter uma política rígida quanto a descarga de efluentes industriais em redes coletoras públicas para que seja privilegiada a reciclagem agrícola de lodo.

O Brasil possui a NBR 9.800 que rege a disposição de efluentes industriais na rede coletora pública de esgotos. Porém esta norma visa apenas garantir o bom funcionamento do sistema de tratamento de esgoto e não a qualidade final do lodo gerado. Garantir a não inserção de metais pesados no sistema é de fundamental importância, pois hoje ainda não há técnicas economicamente viáveis para a retirada dos mesmos e a reciclagem do lodo que não deve apresentar qualquer risco ao meio ambiente e a saúde pública. Já no que concerne a contaminação do lodo por microorganismos patogênicos, existe várias alternativas técnicas que podem ser aplicadas para saná-lo ao nível que a reciclagem solicita.

2.3.1. Metais Pesados.

Os metais se encontram distribuídos por toda a natureza. Nos solos, os metais são originários da rocha de origem e de outras fontes adicionadas ao solo, como: precipitação atmosférica, cinzas, calcário, fertilizantes químicos e adubos orgânicos (estercos de animais, lixo domiciliar e bio-sólidos) (SANTOS, et al, 2010).

De acordo com Adreolli (1999), os metais pesados presentes no solo podem ter três origens:

- 1) Rejeitos domésticos: canalizações, fezes e água residuárias de lavagem que contêm alguns metais.
- 2) Águas pluviais: as águas de escoamento de superfícies metálicas ou das ruas carregam resíduos de metais dispersos na fumaça de veículos.
- 3) Efluentes industriais: são principal fonte de metais no esgoto, contribuindo com certos tipos específicos de cátions de acordo com a atividade da indústria.

Do ponto de vista ambiental, o metal pesado pode ser entendido como aquele metal que, em determinadas concentrações e tempo de exposição, oferece risco à saúde humana e ao ambiente, prejudicando a atividade dos organismos vivos (VON SPERLING, 2001).

Dentre os principais metais pesados destaca-se: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, e Zn. Todos eles podem ser encontrados no solo naturalmente, e em concentrações variáveis, quase sempre em concentrações menores que aquelas consideradas tóxicas. Alguns destes elementos são essenciais aos organismos em certas quantidades, desempenhando alguma função no metabolismo, quando em excesso, tornam-se potencialmente tóxicos.

Alguns metais servem de micronutrientes, os quais os seres vivos necessitam para alguma função em quantidades muito baixas, como é o caso do ferro, zinco e magnésio. Ocorrem aqueles que normalmente não existem em qualquer organismo, nem desempenham qualquer função seja nutricional ou bioquímica em microorganismos, plantas ou animais, sendo eles por estes motivos prejudiciais em qualquer concentração. São alguns exemplos o chumbo, o mercúrio, o cádmio.

As quantidades de metais presentes no meio ambiente estão relacionadas na Tabela 2.5, que tem como base em literaturas Brasileiras e estrangeiras.

Tabela 2.5. Concentração média de alguns metais no ambiente

Elementos	Meio								
	Crosta Terrestre (mg/Kg)	AR	Solo (mg/Kg)	Agrícola	Água Superficial	Água de Abastecimento	Alimentos (cereais, frutas e vegetais)	Mamíferos (mg/Kg)	Dieta Humana (mg/Kg)
			Europa	Brasil					
Cádmio (Cd)	0,2	0,7-2 ng/m ³	0,01-2,4	2,8-3,2	0,1-10 µg/l	0,1-0,2 µg/l	Até 25 µg/Kg	0,05-130	0,6
Chumbo (Pb)	13	0,1-0,74 µg/m ³	2-300	14-94	-	-	73 µg/Kg	0,2-36	0,3-0,4
Mercúrio (Hg)		2-10 ng/m ³	-	-	<0,5 µg/l	25 ng/l	2-20 µg/Kg	-	-
Níquel (Ni)	75	0,5 µg/m ³	2-1000	8-98	0,10mg/l	< 20 µg/l	0-10 mg/Kg	0,01-6	0,3-0,5
Zinco (Zn)	70	100-500 ng/m ³	10-300	5-194	<10 µg/l	< 20 µg/l	< 5 mg/Kg	13-210	10-15
Cobre (Cu)	35	25 ng/m ³	2-250	10-466	Poucos µg/l	< 20 µg/l	>10 mg/kg	220-1960	2-5
Cromo (Cr)	100	2-5 ng/m ³	5-1500	4-145	1,0-10 µg/l	< 5 µg/l	10-1300 µg/kg	0,03-2,0	0,05
Arsênio (As)	-	-	1,8	-	1,0-50 µg/l	-	- 1-50 µg/g	-	-
Boro (B)	-	0,17 µg/m ³	-	-	0,1 mg/l	0-0,74 mg/l	-	-	-
Manganês (Mn)	1000	-	-	-	-	-	-	0,21-3,8	3-9

Fonte: adaptada de von Sperling (2001).

Devido às reações ocorridas dentro dos sistemas de tratamentos biológicos de esgotos, ocorre a formação de dióxido de carbono e gás metano pela ação dos próprios microorganismos, tornando o ambiente com características redutoras. Sabendo-se então que a solubilidade de cada metal depende diretamente do pH do meio, podemos programar o tratamento para retirar determinado metal. Como exemplo podemos citar a solubilidade do chumbo, que, quanto mais alcalino for o meio, mais compostos insolúveis ele possuirá e portanto maior será a concentração deste no lodo e menor no efluente final.

Além do pH do meio deve-se citar a sinergia do conjunto de alguns compostos, o efeito antagônico de outros, e o aumento ou diminuição do efeito tóxico dos metais na presença de alguns elementos.

Com base na pesquisa bibliográfica foi possível estruturar a Tabela 2.6, que sintetiza a remoção de metais em diferentes tipos de tratamentos.

Tabela 2.6. Remoção de metais em relação ao tipo de processo biológico de tratamento de efluentes.

Remoção de metais por processo de tratamento de esgotos			
Poluente	Processo de Tratamento	% de Remoção	Referência
Arsênio	Lodo ativado	20 - 98	E.P.A. (1980)
	Lagoa Aerada	99	E.P.A. (1980)
Cádmio	Primário	7	Antony apud Helou (2000)
	Filtro Biológico	28	Hanna ET AL (1986)
	Lodo Ativado	24	Hanna ET AL (1986)
	Lagoa Aerada	-	Hanna ET AL (1986)
	Lagoa Facultativa	32	Hanna ET AL (1986)
	Lodo Ativado	0 - 99	E.P.A (1980)
Chumbo	Lagoa Aerada	97	E.P.A (1980)
	Primário	20	Antony apud Helou (2000)
	Filtro Biológico	48	Hanna ET AL (1986)
	Lodo Ativado	6,5	Hanna ET AL (1986)
	Lagoa Aerada	58	Hanna ET AL (1986)
	Lagoa Facultativa	50	Hanna ET AL (1986)
Cobre	Lodo Ativado	10 - 99	E.P.A (1980)
	Lagoa Aerada	80 - 99	E.P.A (1980)
	Primário	18	Antony apud Helou (2000)
	Filtro Biológico	60	Hanna ET AL (1986)
	Lodo Ativado	82	Hanna ET AL (1986)
	Lagoa Aerada	74	Hanna ET AL (1986)
	Lagoa Facultativa	79	Hanna ET AL (1986)
	Lodo Ativado	2 - 99	E.P.A (1980)
Cromo	Lagoa Aerada	26 - 94	E.P.A (1980)
	Primário	16	Antony apud Helou (2000)
	Filtro Biológico	52	Hanna ET AL (1986)
	Lodo Ativado	82	Hanna ET AL (1986)
	Lagoa Aerada	71	Hanna ET AL (1986)
Mercúrio	Lagoa Facultativa	79	Hanna ET AL (1986)
	Lodo Ativado	5 - 98	E.P.A (1980)
	Primário	22	Antony apud Helou (2000)
	Lodo Ativado	33 - 94	E.P.A (1980)
Níquel	Lagoa Aerada	99	E.P.A (1980)
	Primário	6	Antony apud Helou (2000)
	Filtro Biológico	30	Hanna ET AL (1986)
	Lodo Ativado	43	Hanna ET AL (1986)
	Lagoa Aerada	35	Hanna ET AL (1986)
	Lagoa Facultativa	43	Hanna ET AL (1986)
	Lodo Ativado	0 - 99	E.P.A (1980)
Selênio	Lagoa Aerada	0 - 50	E.P.A (1980)
	Lodo Ativado	50 - 99	E.P.A (1980)
Zinco	Primário	26	Antony apud Helou (2000)
	Lodo Ativado	0 - 92	E.P.A (1980)
	Lagoa Aerada	34 - 99	E.P.A (1980)

Fonte: adaptado de Morita (1993), apud von Sperling (2001).

Como mostra a Tabela 2.6 a concentração de metais pesados no lodo é muito variável, dependendo de sua carga afluente, de seu

tratamento e operação do sistema, de local para local, de sua população, etc.

Com o conhecimento desta variação, então para se indicar uma destinação adequada tanto para o efluente final quanto para o lodo, é necessário a caracterização de seu afluente e seu efluente, fase líquida (efluente final) e fase sólida (lodo). Assim pode-se adotar medidas de controle de entrada de cargas incompatíveis ou a destinação final adequada.

A Tabela 2.7 relaciona a concentração de metais pesados em algumas ETE's Brasileiras. Todas as concentrações encontradas estão dentro dos limites das normas Brasileiras e de todos os países pesquisados.

Tabela 2.7. Teores de metais em alguns lodos de ETE's Brasileiras.

Concentração em mg/Kg em base seca

ETE	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Mercurio	Molibdênio	Níquel	Selênio	Zinco
Franca SP (Lodos Ativado)	<0,006	0,06	2,94	6,19	4,0	0,02	0,38	<0,06	4,43
Barueri SP (Lodos Ativado)	5,3 68	- 20	7,6 101 152	- 485 664	0 – 1,6	5 - 12	211 – 411	Nd 1,4	1880 – 2127
Suzano SP (Lodos Ativado)	33 202	- 2 - 7	187 273	- 803 841	15	11	269 – 390	nd	1793 – 2846
Norte DF (Lodos Ativado)	-	<20	50	186	4	-	2,5 – 5,2	-	280 – 1500
Belém PR (aeração Prolongada)	-	Nd	123	439	1	-	73	-	824
Norte Londrina PR (UASB)	-	0,01	101	282	-	-	29	-	1041

Fonte: Adaptado de Sapia (2000), Fernandes e Silva (1999), Helou (2000), apud von Sperling (2001).

Nd = não detectado.

Os teores de metais em lodos de ETE's encontrados no Brasil, não são expressivos até o momento. Adreolli (1999) em sua pesquisa no Paraná encontrou valores menores do que as apresentadas nas literaturas internacionais, além de valores abaixo dos encontrados em outros rejeitos orgânicos utilizados como adubo no estado do Paraná. A Tabela 2.8. nos mostra esses valores comparativos de rejeitos orgânicos do estado do Paraná.

Tabela 2.8. Teores de metais pesados (mg/kg) de alguns resíduos orgânicos coletados no estado do Paraná

Material	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
Esterco Bovino	0,11	27,5	90,2	3,5	11,1	220	
Esterco Suíno	0,58	19,3	230,0	4,0	19,6	1670	
Esterco de Aves	0,33	15,9	72,8	2,6	5,9	151	
Húmus	0,0	7,2	18,6	0,7	5,0	16	
Húmus de Minhoca	0,0	42,6	246,0	7,9	33,9	266	
Composto de Esterco Bovino	0,11	27,5	90,2	3,5	11,1	220	
Composto de Resíduo	0,0	164,0	100,0	67,4	13,7	259	
Lixo Urbano	0,71	23,3	66,1	3,8	10,6	427	
Lodo Aeróbico	Nd-12	34-520	13-299	Nd-150	Nd-200	114-1350	Nd-4,4
Lodo Anaeróbico	-	71-146	24-71	36-45	60-88	415-862	Nd-4,5
Norma CONAMA 375	20	1000	1000	300	750	2500	16

Fonte: adaptado de Andreolli (1999).

2.3.2. Agentes Patogênicos.

O lodo e todo resíduo de origem animal contém organismos patogênicos, em que a quantidade e a variedade desses organismos mostra as condições de saúde da população contribuinte deste sistema. A presença destes organismos no bioossólido pode trazer riscos à saúde daqueles que praticam sua manipulação, da contaminação do solo pela sua aplicação, da contaminação de mananciais pelo carreamento e também pelo consumo desta água contaminada ou pela contaminação de alimentos fertilizados por estes bioossólidos.

Portanto, o uso seguro do efluente sanitário na agricultura supõe a utilização de uma tecnologia que elimine ou diminua sensivelmente a presença destes micro-organismos, aliada ao controle de qualidade de higienização e a adequação do tipo de uso agrícola às características microbiológicas do mesmo (ANDREOLLI, 1999).

Segundo Von Sperling (2001) os microorganismos encontrados no lodo podem ser saprófitas, comensais, simbiontes, ou parasitos. Apenas a última categoria é patogênica e capaz de causar doenças no homem e nos animais. Dentre os organismos patogênicos, cinco grupos podem estar presentes no lodo:

- Helmintos
- Protozoários
- Fungos
- Vírus
- Bactérias

A presença destes agentes patogênicos no lodo pode originar-se do homem, animais dos quais as fezes são descartadas no sistema, como cães e gatos domésticos, e fezes de animais que habitam o sistema coletor, como o caso de roedores.

Devido à alta frequência, longo tempo de sobrevivência e dose infectante os organismos que representam um maior risco à saúde humana e animal são bactérias, vírus, ovos de helmintos e cistos de protozoários.

Além de variar devido às condições sócio-econômicas da população, condições sanitárias, região geográfica, a quantidade de patógenos presentes no lodo também varia com os métodos de tratamento ao qual o lodo foi submetido. Os processos de tratamento de esgotos concentram no lodo a maior parte dos organismos patogênicos devido ao carregamento dos mesmos com os flocos formados no tratamento, vale lembrar que a certo nível os processos de tratamento são capazes de desnaturalizar estes organismos, sendo assim estes organismos perdem sua infectividade.

A capacidade de sobrevivência dos microorganismos no ambiente vai variar se estão dispostos no solo, na água, ou nos vegetais.

No solo o tempo de sobrevivência varia de acordo com a capacidade de resistência do organismo, do pH do solo, textura, incidência de luz solar, temperatura do ambiente, método de aplicação do lodo no solo, capacidade de retenção de água do solo e fauna microbiana do solo. No Tabela 2.9 é feita uma síntese bibliográfica dos tempos de sobrevivência de organismos patogênicos no solo.

Tabela 2.9. Tempo de sobrevivência de organismos patogênicos no solo

Agentes Patogênicos	Tipos de Solo	Tempo de sobrevivência médio	Tempo de sobrevivência máximo
Vírus			
Enterovírus	Diferentes tipos	12 dias	100 dias
Bactérias			
Coliformes	Superfície	40 dias	90 dias
Fecais	Solo arenoso	30 dias	60 dias
Samonella SP.	Solo (camada profunda)	70 dias	90 dias
Vibrio Cholerae		5 dias	30 dias
Protozoários			
Amebas		10 – 15 dias	30 dias
Nematodas	Solo irrigado	Vários meses	2 a 3 anos
Ascaris sp.	Solo	Vários meses	7 a 14 anos
Toxocara sp.	Solo	Vários meses	8 meses
Taenia sp.	solo	15 – 30 dias (verão seco)	3 a 15 meses (inverno)

Fonte: Von sperling (2001)

Quanto a sobrevivência na água, o tempo é variável, podendo ir de 10 a 60 dias para bactérias, de 60 a 120 dias para vírus entéricos, e de vários meses para ovos de helmintos.

Já o tempo de sobrevivência nos vegetais vai depender do tipo de microorganismo e natureza vegetal, novamente os ovos de helmintos tendo uma maior resistência. Em relação ao tipo de vegetal podemos citar alguns exemplos da duração de ovos de helmintos em alfaces de 8 a 15 dias, 28 dias em tomate, 10 a 30 dias em rabanetes. Por estar disposto diretamente no solo, vegetais como as cenouras possuem um maior risco de contaminação.

Além dos vegetais, os animais colocados em pastagens tratadas diretamente com o lodo de ETE's possuem um alto risco de contaminação.

Devido a grande variedade de microorganismos que podem estar presentes no bio sólido, baseados na eficiência de remoção, e na resistência dos microorganismos, os microorganismos mais comumente utilizados como indicadores de sanidade do bio sólido são:

- Coliformes fecais
- Coliformes totais
- Ovos de helmintos

2.4. PROCESSOS DE HIGIENIZAÇÃO DE LODOS.

Para dar destino sanitário e poder reutilizar os lodos de esgoto, é necessário que o lodo passe por um processo complementar de estabilização, denominado higienização. Este processo visa eliminar ou reduzir significativamente a densidade de microorganismos, tornando o produto final biologicamente seguro para as diferentes aplicações desejadas (PASSAMANI et al, 2002, apud MANZOCHI 2008).

O nível de higienização necessário dependerá do tipo de destino final escolhido para o lodo. Para o uso agrícola ou em locais como parques, praças e play grounds deve possuir um nível de patogenicidade reduzido, pois é alto seu risco de contaminação, ao contrário da incineração a qual não exige um nível de higienização elevado.

A higienização não é um processo de desinfecção, já que ela visa apenas reduzir a patogenicidade do lodo a níveis que não causarão riscos a população, e não eliminar de forma intangível todos os patógenos.

Os principais objetivos da higienização são, redução de patógenos, eliminar maus odores, e diminuir a quantidade de material putrescível. Os métodos de higienização são divididos em três grupos, higienização biológica, higienização química e higienização física. Estes grupos serão descritos agora com ênfase nos principais de cada grupo.

2.4.1. Higienização Biológica.

Dentro da higienização biológica classificam-se os processos em aeróbio, anaeróbio e aeróbio autotérmico ou compostagem. Por ser o mais usual e economicamente viável será apresentado aqui apenas a compostagem.

A compostagem é um processo biológico de degradação da matéria orgânica. Os microorganismos degradam o material orgânico do lodo, geralmente em mistura com outros resíduos orgânicos, em processos exotérmicos, gerando calor e mantendo a temperatura entre 55 e 65°C por alguns dias, o que inviabiliza e reduz os organismos patogênicos do lodo a níveis apropriados para a utilização na agricultura (PEGORINI, 2002).

A inativação dos microorganismos patogênicos ocorre principalmente através da via térmica, ocasionada pelo aumento da temperatura na fase de maior atividade do processo. Para uma maior efetividade do processo devem ser controlados os parâmetros de temperatura, umidade, oxigênio e nutrientes. Com isso torna-se necessário a introdução de materiais como, cavacos de madeira, folhas, resíduos verdes, palha de arroz ou outros agentes estruturante para o aumento da aeração, controle da umidade, o correto teor de carbono/nitrogênio.

A compostagem é composta por três fases:

1. Fase inicial ou mesófila: onde há um aumento na temperatura devido ao rápido crescimento de microorganismos mesófilos.
2. Fase termófila: com o aumento da temperatura os microorganismos mesófilos diminuem dando lugar às bactérias e fungos termófilos, que aumentam ainda mais a temperatura, é nessa fase onde ocorre a inativação dos microorganismos patogênicos.
3. Fase final mesófila: a medida que diminui o substrato orgânico, diminui também a temperatura o que leva a diminuição da população de bactérias termófilas possibilitando novamente a instalação de bactérias mesófilas, porém com uma menor atividade, devido ao esgotamento do substrato orgânico.

A compostagem pode ser executada por três métodos:

- a) Leiras revolvidas: este processo é executado mecanicamente, através da disposição do material em leiras de 1,0 a 1,8 metros de altura por 2,0 a 5,0 metros de largura, sendo revolvidas a intervalos regulares até que o processo seja completado, é no reviramento que ocorre a aeração da leira. O processo leva de 50 a 90 dias para ser finalizado. Esse método é o que ocupa a maior área.
- b) Leiras estáticas aeradas: nesse caso a aeração é feita através de tubos perfurados dispostos dentro da leiras, e estas por sua vez são fechadas para evitar maus odores. O tempo nesse processo é menor cerca de 30 a 60 dias e utiliza uma área menor.
- c) Reatores Biológicos (In-vessel): o projeto pode ser contemplado em batelada ou contínuo, nesse processo todos os parâmetros são muito bem controlados resultando em um menor tempo de permanência e uma menor área

necessária, além de ser aquela que possui uma melhor eficiência na redução de patógenos.

2.4.2. Higienização Física.

O tratamento térmico tem sido uma alternativa para a destruição e/ou inativação de organismos patogênicos. O tempo de exposição do lodo a uma determinada temperatura é fundamental para garantir a sua higienização, sendo necessário conhecer a relação desses dois parâmetros na destruição e inativação dos parasitos e microorganismos patogênicos mais termo resistentes. O conhecimento da curva de sobrevivência térmica de organismos indicadores de qualidade sanitária possibilita estimar a relação adequada entre o tempo de exposição do lodo e determinadas temperaturas, suficientes para alcançar a higienização (PEDROZA et al., 2006, apud MANZOCHI 2008).

Os tratamentos térmicos vêm sendo viabilizados pelas novas tecnologias de aproveitamento de biogás em estações de tratamento de efluentes, dentre estes podemos citar dois: a secagem térmica e a pasteurização.

Pasteurização é o aquecimento do lodo à 70°C por 30 minutos seguido de rápida refrigeração à 4°C.

Secagem térmica consiste em passar o lodo por uma fonte térmica, provocando a evaporação da água e conseqüente inativação de patógenos. Para um eficaz tratamento é necessário que o lodo seja pré digerido e desaguado a cerca de 35% de sólidos, pois mais água implicaria em mais energia a ser disposta. Essa opção tem como benefício um menor volume final 90% à 95% de teor de sólidos, fácil aplicação e ausência de mau cheiro.

2.4.3. Higienização Química.

Dentro da higienização química citam-se os processos como oxidação úmida, N-Viro, e estabilização alcalina. Dentro da estabilização alcalina a mais utilizada e difundida é a utilização de cal virgem misturada ao lodo, ou caleação.

A caleação consiste em adicionar cal suficientemente para que o pH do lodo se eleve à 12. A cal virgem por possuir uma reação exotérmica em contato com a água é a mais utilizada. Com o aumento do pH e da temperatura, o nitrogênio do lodo será transformado em amônia. Esses três fatores amônia, pH e temperatura são os responsáveis pela destruição dos patógenos e pela prevenção contra odores indesejáveis, se forem respeitados os tempos de contato.

Estudos realizados por Adreolli et al., 1999; EPA,1994, mostram que a dose adequada de cal virgem a ser misturada no lodo é de 30% à 50% do peso seco do mesmo, tendo neste mantidos o pH acima de 12 por pelo menos duas horas.

Um lodo muito seco facilita a formação de torrões que impedem a completa mistura do lodo com a cal, além disso, um lodo com pouca umidade não produz a reação exotérmica da cal em contato com a água. Para evitar esses eventuais problemas recomenda-se a mistura da cal virgem com o lodo com umidade acima de 60%.

2.5. DISPOSIÇÃO FINAL.

O processo de urbanização atual formando grandes conglomerados urbanos conduz a um aumento dos custos para solucionar as questões relacionadas a implantação e operação de um sistema de esgotos.

O tratamento e a disposição final do lodo gerado nas ETE's pode se tornar uma parcela onerosa na gestão do sistema. Alguns aspectos devem ser considerados quanto a decisão sobre a forma e o destino do lodo gerado.

- Produção de lodo da ETE
- Teor de metais pesados no lodo
- Teor de umidade
- Características finais que possam interferir no destino final.

Neste trabalho apenas serão contemplados as mais importantes técnicas e destinos finais, como a disposição em aterro, landfarming, incineração e reciclagem agrícola. Como o objetivo principal do trabalho é o de avaliar aproveitamento agrícola do lodo, a reciclagem será o tema mais detalhado.

2.5.1. Incineração.

A incineração não pode ser considerada como um processo de destinação final, pois mesmo que ínfimo gera algum resíduo. O volume de cinza gerado é normalmente inferior a 4% do volume de lodo desaguado alimentado ao incinerador.

A incineração do lodo implica na completa destruição de toda a matéria orgânica presente no lodo incluindo patógenos. Os produtos finais de sua combustão completa são: vapor d'água, dióxido de carbono, dióxido de enxofre e cinza inerte.

A qualidade das cinzas, dos gases e materiais particulados gerados no processo está diretamente vinculado a qualidade do lodo incinerado. O uso de incineradores está restrito às grandes áreas com alta densidade populacional, áreas industriais ou pela impossibilidade de uso do lodo na agricultura seja pela distância ou pela qualidade do lodo, ou pelos altos custos de implantação e operação.

Os filtros de alta tecnologia produzidos hoje, possibilitam um melhor tratamento dos gases gerados no processo diminuindo a poluição atmosférica e facilitando a implantação dos mesmos. As cinzas geradas são formadas por material inerte, inorgânico com alto teor de metais pesados necessitando de adequada destinação final.

Como forma de assegurar a retenção dos metais pesados experiências vem sendo realizadas, misturando-se as cinzas a cimento ou na produção de agregados para a construção civil.

A incineração possui um alto custo de investimento e manutenção não sendo aplicável na maioria dos casos.

2.5.2. Landfarming.

É o processo pelo qual o lodo é incorporado a uma camada superficial de solo, que serve de aporte para a atividade biológica, retenção de metais pesados, local de exposição ao sol, e biooxidação que causará a degradação da matéria orgânica. O solo será então considerado como um sistema de tratamento.

Apesar de simples execução alguns cuidados devem ser tomados neste tipo de tratamento, quantidade de lodo a ser aplicada, impermeabilização da camada inferior, distância do lençol freático, e constante monitoramento tanto da área de landfarming quanto do lençol freático.

Neste tipo de tratamento não se almeja aproveitar os nutrientes nem posterior uso da área devido as altas taxas de contaminantes. A área deve ser lavrada constantemente para incorporação do oxigênio. Possui um baixo custo de implantação e se bem executada e monitorada não representa riscos a população. Considerada como boa alternativa para planos emergenciais, não é muito utilizada na área de tratamento de esgotos no Brasil, é mais utilizada para tratamentos de efluentes industriais, como exemplo podemos citar a PETROBRAS que possui uma área de Landfarming em Araucária (PR), na refinaria de Presidente Vargas.

2.5.3. Aterro e Co-disposição do lodo com lixo urbano.

A NBR 8419 define aterro sanitário como “*técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos a saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios da engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou intervalos menores, se necessário*”.

Nesse tipo de disposição não há qualquer preocupação com a recuperação de nutrientes, o objetivo principal é usar a menor área e menor volume possível para o confinamento, tratando os percolados para evitar a contaminação ambiental.

De forma geral estão classificados em duas modalidades: aterros exclusivos para lodos e aterros de co-disposição com resíduos sólidos urbanos. A escolha da correta forma de disposição vem de encontro com as características do lodo gerado.

Os aterros sanitários exclusivos têm como característica receber apenas lodo de estação de tratamento, possuindo para tanto técnicas de disposição que permitam receber lodos com baixos teores de sólidos. Para isso ser possível são usadas trincheiras de menor largura, permitindo a descarga de caminhões sem que haja a necessidade de tráfego de caminhões sobre a vala. A recuperação se faz sem a necessidade de equipamentos, sendo feita apenas a drenagem superficial do solo.

Na co-disposição de lodo com lixo urbano, é exigido um teor de sólidos de pelo menos 20% devido às dificuldades de operação, já que a compactação mais utilizada é através de tratores de esteiras. Tortas de lodo com umidades acima desse valor podem prender nas esteiras

difícultando o trabalho. A umidade também deve ser controlada para que não haja problemas de saturação do aterro, percolação excessiva levando a um grande volume a ser tratado. O grande inconveniente desse método é a redução da vida útil do aterro embora seja considerado o método mais barato de disposição final.

Como elementos básicos para implantação do projeto são destacados:

- Escolha da área: deve-se levar em consideração a distância entre o centro produtor e o aterro, distância de áreas urbanas, características do solo, do clima e do meio ambiente no entorno.
- Capacidade do aterro: aterros sanitários usualmente são projetados para um período de operação entre 15 e 20 anos.
- Impermeabilização do leito do aterro: podem ser executada com solos argilosos de boa compactação ou com membranas em PEAD, executada para impedir a infiltração de percolada e conseqüente contaminação de águas subterrâneas.
- Sistema de drenagem de águas superficiais: projetado para separar as águas da chuva impedindo o aumento de percolados, devido a dinâmica de operação do aterro são projetados em meia cana ou em valas no solo.
- Drenagem de percolados: com um caráter de difícil dimensionamento devem ser levadas em consideração as precipitações locais, principal característica de projeto. Construído com um sistema de drenos porosos com pequena declividade, geralmente canaleta com pedras de pequenos diâmetros envoltas de membranas próprias e por fim coberto com areia para evitar contato direto com a membrana.
- Drenagem de gases: a degradação da matéria orgânica de forma anaeróbia tem como subprodutos a produção de gases principalmente CH_4 , CO_2 e H_2S , são coletados normalmente por tubos de concretos perfurados dispostos verticalmente envoltos de pedra, podendo ser armazenados e utilizados como combustível.

Não se deve esquecer que a saturação do aterro é um ato incontestável, e o posterior aproveitamento de sua área ser um grande problema. Sua maturação pode levar décadas e seu solo adquire características instáveis, devendo, portanto ser monitorado por um longo período. O uso preferencial dessas áreas tem sido para construção de áreas verdes, parque e campos esportivos.

2.5.4. *Reciclagem Agrícola.*

A matéria orgânica sempre foi considerada como importante fonte fertilizante para o solo, por esta razão civilizações mais antigas como o Japão, China e Índia utilizam a milhares de anos, rejeitos da atividade humana como fonte fertilizante.

O biossólido, lodo de esgoto estabilizado e higienizado, é um importante condicionador do solo, não só por seus constituintes, mas também por sua capacidade de reter umidade, nutriente oriundos de fertilizantes químicos aplicados, liberando-os lentamente, e por fim propicia o crescimento de microorganismos benéficos para a agricultura.

A constituição do lodo depende do esgoto que lhe deu origem, sendo na sua maioria ele é formado por grandes quantidades de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica (carbono orgânico). Em menores quantidades são encontrados cálcio e magnésio, salvo nos biossólidos higienizados com cal. Apesar de o potássio presente estar em formas prontamente assimiláveis ele é o constituinte que normalmente é complementado de forma química na adubação.

Segundo Von Sperling (2001), as quantidades de micro elementos são variáveis nos lodos, contendo geralmente, quantidades apreciáveis de Cu, Zn, e Mn e menores de B, Mo e Cl. Quando aplicados como única fonte de N para as plantas, as quantidades de micronutrientes aplicadas, na maioria das vezes são suficientes para atender as demandas nutricionais da planta.

A reciclagem agrícola deve, necessariamente, estar condicionada a regras que definam as exigências de qualidade do material a ser reciclado e aos cuidados exigidos para estabilização, desinfecção e normas de utilização que incluam as restrições de uso. Assim, a regulamentação de uso é um pré-requisito básico para a utilização desta prática que apresenta grandes dificuldades para sua correta definição, de forma a garantir o uso seguro sem, contudo, inviabilizar o processo pelo excesso de exigências (ANDREOLLI, 1999).

A) Escolha das culturas e riscos associados

Para evitar riscos de contaminação, primeiro deverá ser feito um estudo que averigüe as quantidades de metais pesados que possam inviabilizar ou não a aplicação.

Quanto aos patógenos deve-se tomar certos cuidados na escolha das culturas. Culturas como as olerícolas tem contato direto com o solo como é o caso da alface, ou são produzidas dentro do solo como a cenoura, possuem maior riscos de contaminação e muitas vezes são consumidas “*in natura*”.

Os cereais por outro lado, na maioria das vezes industrializados são altamente recomendados, junto com as fruticultura aonde o alimento não terá contato com o lodo e o reflorestamento que não possui fins alimentícios.

Quanto pastagens deve-se ter certos cuidados, recomenda-se que por período mínimo de dois meses não seja liberada para os animais por dois objetivos: permitir o perfeito crescimento da espécie em sua máxima produção de forragem, e impedir o contato dos animais diretamente com os resíduos.

B) Taxa de aplicação

O uso agrícola do biofertilizante tem interesse principal nos nutrientes presentes, assim sendo a aplicação deve considerar a necessidade de cada cultura. A quantidade de matéria orgânica no solo não é um fator limitante visto que quanto maior for sua quantidade maior será a atividade microbiana e suas melhorias serão sentidas à longo prazo, como a melhoria da retenção de água no solo e diminuição do carreamento dos nutrientes, aumento da resistência das plantas a ataques de pragas, entre outras.

Por estar presente em maior quantidade no biofertilizante e ser necessário em maior quantidade pelas plantas, o nitrogênio é comumente utilizado para definir as quantidades aplicadas no solo. Com o conteúdo de nitrogênio aplicado os micronutrientes normalmente satisfazem as necessidades nutricionais das plantas, porém uma atenção maior deve ser dada as quantidades de P e K. Podem ser necessárias complementações químicas, principalmente o potássio.

Na higienização com cal, como cerca 30% do biofertilizante é Cal, é conveniente calcular seu poder de modificar o pH dos solos. O Brasil possui em sua maioria solos ácidos que necessitam de correção, esta pode ser realizada através da aplicação do biofertilizante.

2.6 LEGISLAÇÃO

Em termos globais, as exigências legais para a reciclagem de biossólidos na agricultura têm sido abordadas de forma integrada: condições mínimas das áreas de aplicação e os critérios de tratamento, transporte, armazenamento e aplicação aos solos de lodos brutos ou tratados. Mesclam-se assim, exigências relativas às diferentes etapas do processo de valorização agrícola do lodo, desde a geração e tratamento do produto ao nível da ETE até especificações segundo as condições do ambiente, forma de aplicação e monitoramentos complementares (MANZUCH, 2008).

Há uma preocupação a nível mundial quanto ao aumento do uso de biossólido na agricultura. Apesar de possuírem algumas diferenças nas avaliações dos riscos ambientais, os parâmetros de controle têm se mostrado coerentes. Dentro destes pode se citar (MANZUCH, 2008):

- Qualidade do lodo de esgoto: conteúdo de nutrientes, conteúdo de poluentes (metais pesados e compostos orgânicos), redução de patógenos.
- Quantidade máxima de poluentes que pode ser aplicada nos solo.
- Limitações para a área de aplicação: declividade, culturas, proximidade a corpos d'água; épocas de aplicação.
- Dosagens de aplicação: baseadas na necessidade agrônômica ou alterações de características do solo.
- Instruções de manejo do resíduo.
- Monitoramento.

Há também uma tendência mundial para adoção de normas ainda mais rígidas relacionadas com a aplicação de biossólidos na agricultura, esse fator trará como benefício à produção de biossólidos de melhores qualidades.

No que diz respeito à patogenicidade do biossólido, a norma americana CRF 40, part 503 impõe que para a Classe A são exigidos: bactérias patogênicas, vírus, protozoários e ovos de helmintos abaixo do nível detectável e densidade de coliformes fecais e estreptococos

<100 NPM por grama de sólidos em suspensão ou lodo aquecido a 53°C por cinco dias ou a 55°C por três dias ou 70°C por 0,5 horas. Para lodo Classe B: densidade de bactérias e vírus por grama de sólidos em suspensão é 100 vezes menor no lodo que no afluente ou densidade de coliformes fecais e estreptococos < 100 NPM por grama de sólidos em suspensão (EPA, 1992).

No Brasil a resolução 375 do CONAMA, apresenta os seguintes parâmetros:

1. **Lodo classe A:** Concentração de coliformes termotolerantes <10³ NPM/g de SST
Concentração de Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST
Concentração de Salmonella ausência em 10 g de ST
Concentração de Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST
2. **Lodo classe B:** Concentração de coliformes termotolerantes <10⁶ NPM/g de SST
Concentração de Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST

Os metais pesados apesar de possuírem parâmetros parecidos internacionalmente, suas restrições são bem diferenciadas, isso devido às características ambientais de cada país, suas características socioeconômicas e os estudos realizados em cada localidade.

Os limites restritivos da Resolução 375 do CONAMA são mais restritivos que os da USEPA, mais ainda são menores que países como a Dinamarca e a Alemanha. A tabela 2.10 apresenta os parâmetros internacionais e nacionais relacionados à concentração de metais em lodos de ETE's utilizados para agricultura.

Tabela 2.10. Concentração máxima de metais em lodos de esgotos utilizados na agricultura no Brasil e no mundo (mg/kg, base seca).

País	Ano	As	Ba	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Ni	Mo	Zn	Se
Comunidade Européia	1986			20-40	750-1200	1000-1750	1000-1750	16-25	300-400		2500-4000	
França	1988			20	800	1000	1000	10	200		3000	
Alemanha	1982			20	1200	1200	1200	25	200		3000	
	1992			10	900	800	900	8	200		2500	
Espanha	1990			20	750	1000	1000	16	300		2500	
Dinamarca	1990			1,2	120	1000	100	1,2	45		4000	
	1995			0,8	120	1000	100	0,8	30		4000	
Finlândia	1995			1,5	100	600	300	1	100		1500	
Noruega				4	100	1000	125	5	80		1500	
Suécia	1995			2	100	600	100	2,5	50		800	
EUA	1993			39-85	300-840	1500-4300	1200-3000	17-57	420-420		2800-7500	
Nova Zelândia	1992			15	600	1000	1000	10	200		2000	
Reino Unido	1989			3,5	300	225	600	1,5	125		500	
Austrália	1991			8	300	1200	500	7,5	100		1800	
Itália	1992			20	750	1000	---	10	300		2500	
Luxemburgo	1992			40	1200	1750	1750	25	400		4000	
Países Baixos	1995			1,25	100	75	75	0,75	30		300	
Canadá	1984			20	500	---	---	5	180		1850	
Brasil	2006	41	1300	39	300	1500	1000	17		50	2800	100
CONAMA 375												
P4230	—	1999	75		85	840	4300		57		75	7500
CETESB												
DF 03-07	2006	20		26	500			15			3000	
SEMA-PR	2007	41	1300	39	300	1500	1000	17	300	50	2800	100
001/07												

Fonte: adaptado de MANZOCH, 2008.

A Resolução CONAMA n° 375, em seu Art. 23 da Seção X, declara que são de responsabilidade do gerador e da UGL, o gerenciamento e o monitoramento do uso agrícola do lodo de esgoto ou produto derivado. Os resultados dos monitoramentos poderão a qualquer momento, ser auditados pelo órgão ambiental. Quando comprovado o uso do lodo de esgoto ou produto derivado com negligência, imprudência, imperícia, má-fé ou inobservância dos critérios e procedimentos previstos nesta Resolução, a responsabilidade será do autor. São considerados responsáveis solidários pela qualidade do solo e das águas em áreas onde será aplicado o lodo de esgoto ou produto derivado: o gerador do lodo de esgoto ou produto derivado; a UGL que encaminhar o lodo de esgoto ou produto derivado para aplicação no solo; o proprietário da área de aplicação; o técnico responsável; o transportador; e quem se beneficiar diretamente da aplicação.

3. METODOLOGIA

3.1. DESCRIÇÃO GERAL DA ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL.

Para o início do trabalho e norteameto dos objetivos, será feita a coleta de dados da ETE Costão do Santinho, para isso será utilizado o banco de dados da estação com dados coletados a partir de janeiro de 2009, e análises do lodo realizadas no local e terceirizadas.

Foram realizados comparativos do biossólido com adubação orgânica disponível e com a adubação química, ambas já realizadas no empreendimento. A comparação será no âmbito físico-químico e financeiro.

Foram realizados testes iniciais para averiguar a eficiência da desinfecção com cal, comparação com a bibliografia existente, e definição da quantidade a ser incorporada no biossólido.

Com base no volume descartado de lodo no período de janeiro de 2009 e julho de 2010, foi projetada uma planilha com o volume gerado de lodo, o gasto com cal virgem, e o volume de biossólido gerado, bem como a regularidade de análises e lotes de biossólidos a serem formados.

As análises de pH serão feitas no local do projeto enquanto as demais serão feitas em laboratórios terceirizados.

3.2. PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS.

Devemos agora realizar a análise da umidade do lodo para adequarmos a quantidade correta de cal da mistura, para isso será executado o acompanhamento durante o período de janeiro de 2010 a setembro de 2010 de análises de umidade na hora da retirada do leito de secagem. A coleta da amostra será executada em quatro pontos equidistantes a 1/3 do comprimento e largura do leito de secagem, feita a homogeneização será enviada a laboratório terceirizado para análise de umidade.

Com base nos dados recolhidos, foi construído um plano para a execução da mistura, visto que a mesma é executada em proporção de volume necessitando de corretas adequações. Para a proposta atual foi considerada uma umidade de 80%, pois os resultados já encontrados são

de um máximo de 87,22%, um mínimo de 75,40% e uma média de 83,28%. Porém baseado na consistência da mistura e qualidade da homogeneização optou-se como umidade ideal 80%.

A cura do biofóssido será executada em pilhas de acúmulos de período de 30 dias, após esse período será feito o empilhamento e cura de 30 dias, após os últimos 30 dias deverá ser feita coleta de amostra em pelo menos quatro pontos da pilha, homogeneização e envio para análises de coliformes totais, coliformes fecais, ovos viáveis de helmintos.

Para a adequação da proposta de aplicação do biofóssido foram executadas análises de micronutrientes e macro nutrientes e metais pesados em três possíveis pontos de aplicação do biofóssido no solo. Com isso será executada uma tabela para aplicação de biofóssido de acordo com especificações agrônomicas para a gramínea conhecida popularmente como Bermuda presente em grande parte do complexo.

Será executada a confecção de quadro comparativo das análises com o resultado da composição do solo, a legislação e a indicação agrônoma para a reciclagem de lodo para agricultura.

Para o projeto final e cálculo da geração do biofóssido foi utilizado o banco de dados da ETE, constando, volume de esgotos, volume dos descartes de lodo em excesso, análises de SST na linha de recirculação e TAE, pH, OD, DBO, DQO.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

O presente trabalho teve como objetivo averiguar a eficiência na produção de biossólidos gerados a partir de lodo secundário de uma estação de tratamento de esgotos por aeração prolongada, para isso foi feita pesquisa de métodos existentes, dentre os quais se optou pela caleação seguida de incorporação ao solo como biofertilizante.

Devido aos riscos da reciclagem agrícola de lodo de ETE, a resolução nº 375 do CONAMA prescreve sobre os parâmetros a serem observados, tanto na parte de contaminantes, quanto aos métodos de armazenagem, transporte, aplicação e monitoramento.

4.1. ÁREA A SER IMPLANTADO O ESTUDO

Localizada no Norte de Florianópolis, em uma das mais belas e preservadas praias, a Praia do Santinho, a ETE do Costão do Santinho Resort funciona com a tecnologia de Lodos Ativados do tipo Aeração Prolongada, possui uma vazão de projeto de 500m³/dia e uma eficiência que atende as legislações pertinentes.

Um esquema da estação de tratamento com as unidades que a compõe será apresentado agora na figura 4.1.

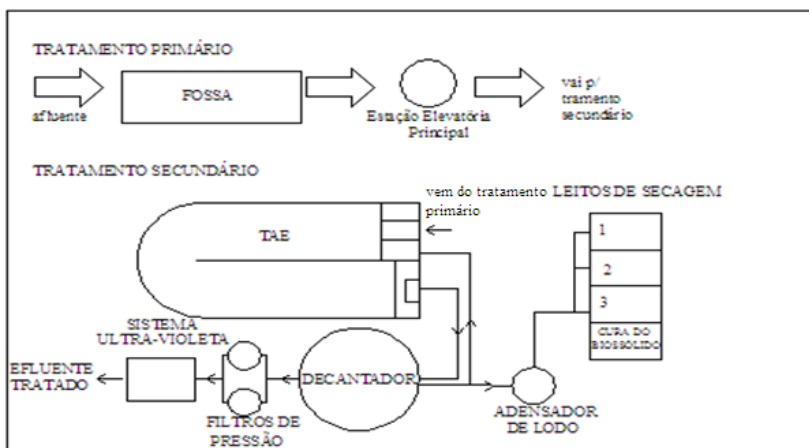


Figura 4.1. Esquema da Estação de Esgotos Sanitários - ETE Costão do Santinho.

A figura 4.2 e 4.3 apresentam fluxograma do sistema de Tratamento de Esgotos Sanitários do Costão do Santinho, com a descrição das unidades componentes.

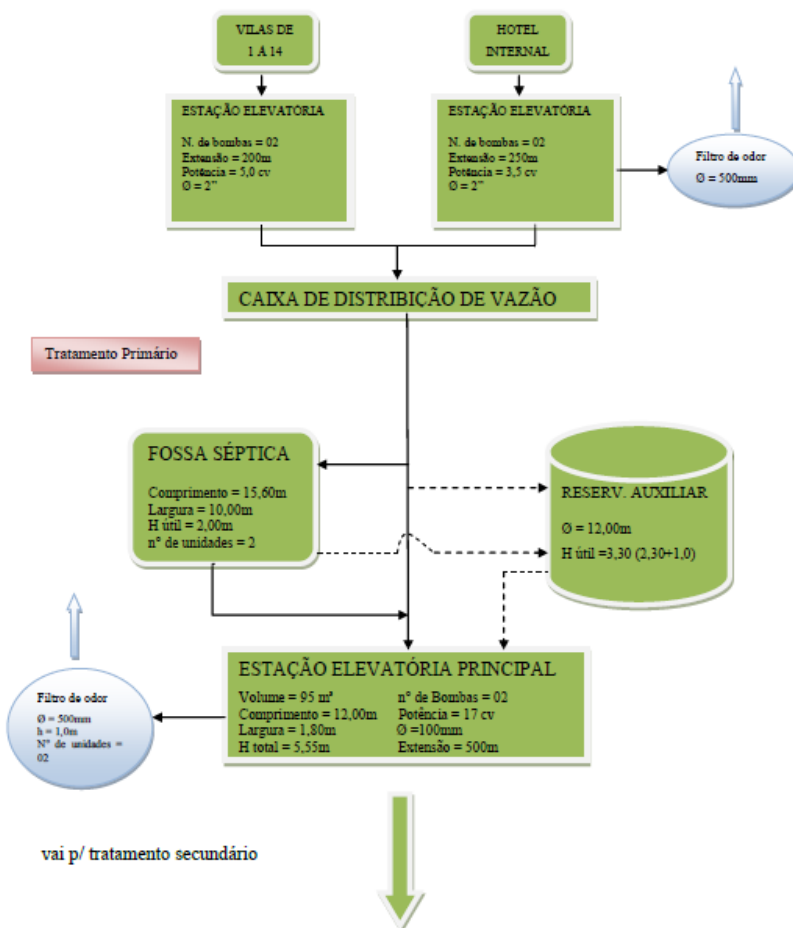


Figura 4.2. Fluxograma ETE Costão do Santinho - geração dos esgotos e unidade de tratamento preliminar.

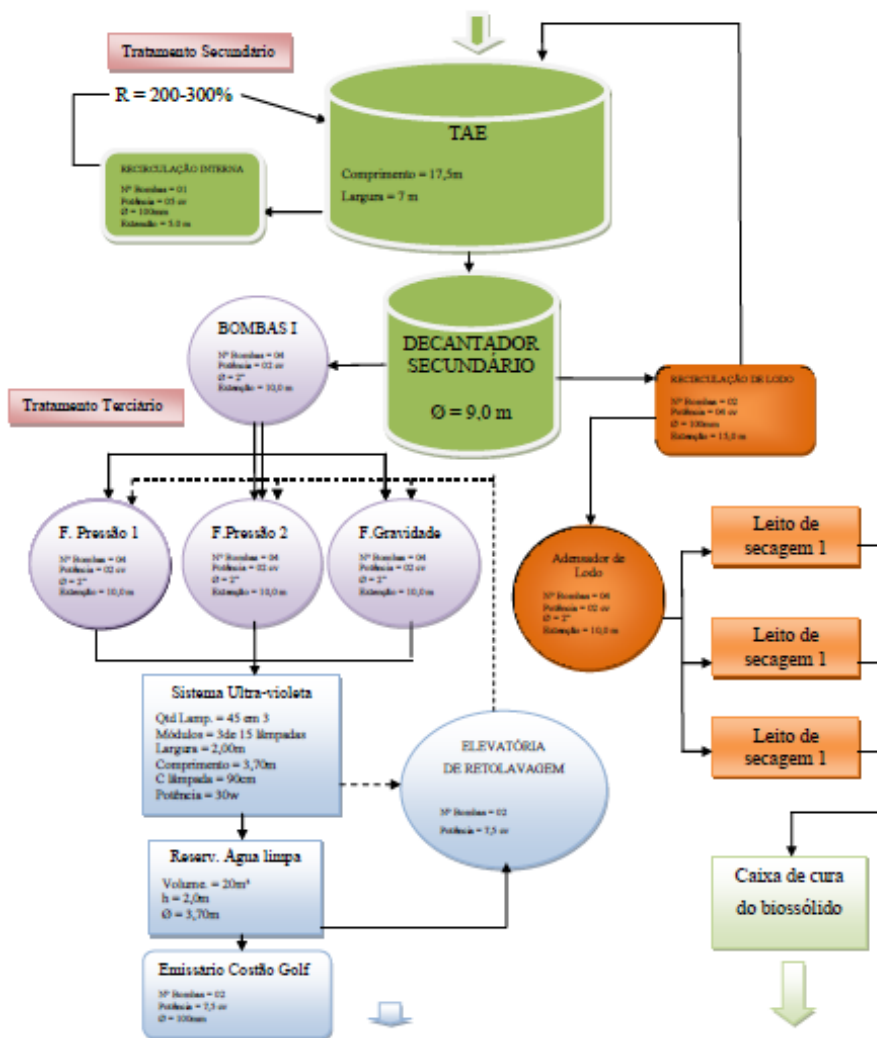


Figura 4.3. Fluxograma ETE Costão do Santinho – Tratamento Secundário e Terciário.

4.1.1 Tratamento Primário

a) Tanque Séptico

O tratamento primário é composto por um tanque séptico de 312 m³, que possui uma eficiência média de 37% na remoção de DQO conforme o monitoramento realizado pela empresa Sócio Ambiental, responsável pela gestão do sistema. Uma Estação Elevatória recalca o esgoto até o tratamento secundário. Os dados referentes a essa elevatória estão apresentados na figura 4.2

4.1.2 Tratamento Secundário

O tratamento secundário é formado pelo reator biológico e o decantador secundário, juntos eles formam o sistema biológico da Estação de Tratamento de Esgotos do Costão do Santinho Resort. Os dois tanques possuem juntos uma capacidade útil de 672m³ com uma eficiência média de 98% na remoção de DBO.

a) TAE (Tanque de Aeração ou Reator biológico)

O TAE possui um volume total de 480m³. Na entrada do reator há a entrada do esgoto proveniente da Estação Elevatória Principal com uma vazão máxima de 36 m³/h, e do lodo de recirculação interna do TAE a uma vazão de 200% à 300% da vazão de entrada, além da recirculação proveniente do decantador secundário com uma vazão mantida igual à vazão de entrada controlado manualmente pelos operadores.

Nos meses de verão onde a vazão se aproxima da máxima é adicionado um auxiliar de floculação orgânico chamado Tanfloc, para evitar que haja perda de sólidos no decantador.

Para fornecer oxigênio ao reator estão dispostos quatro aeradores sendo três submersos e um flutuante além de um misturador. A seqüência dos equipamentos é: logo na entrada um mixer para executar a mistura dos três efluentes (recirculação interna, recirculação do decantador e esgoto bruto), depois um aerador de 15cv flutuante, um aerador submerso de 7,5cv, um aerador submerso de 15cv e por ultimo

mais um aerador de 7,5cv submerso. Totalizando 45cv de potência de injeção de oxigênio no tanque de aeração, como mostra a figura 4.4.



Figura 4.4. Vista do Tanque de Aeração.

b) Decantador Secundário

O decantador é mecanizado e possui forma cilíndrica na parte útil e tronco cônica abaixo. A altura da parte cilíndrica é de 3,50m e o diâmetro interno de 9,0 m. É no decantador que ocorre pela sedimentação a separação dos flocos formados no TAE e a parte clarificada, a qual será enviada aos filtros para polimento do efluente final. O lodo formado e acumulado no fundo do decantador é enviado através de uma Estação elevatória para o reator biológico, ou, quando há necessidade de retirada de lodo por excesso no sistema, é acionada uma válvula na mesma linha de recalque que direciona o fluxo do lodo para o adensador de lodo. O fluxo de lodo de recirculação é direcionado através de tubulação 100mm de diâmetro por duas bombas de 4 cv cada. A Figura 3.5 apresenta uma vista do decantador.



Figura 4.5. Aspecto do Decantador Mecanizado.

4.1.3. Tratamento terciário.

a) Filtros de pressão

A desinfecção por irradiação ultravioleta necessita de um efluente de qualidade, pois qualquer floco, poeira ou material particulado pode servir de proteção para os organismos patogênicos contra a luz ultravioleta e conseqüentemente diminuirá a eficiência do tratamento. Na ETE Costão do Santinho o polimento do efluente é feito por meio de filtros de pressão. São dois filtros com capacidade máxima de 20 m³ cada.

A retrolavagem dos filtros deve ser realizadas a cada 48 horas ou quando a pressão dos filtro ultrapassar 4 mca. A água de retrolavagem é utilizada como redutor de espuma no TAE através de tubulação própria.

Os filtros de pressão são apresentados na figura 4.6.



Figura 4.6. Filtors de Pressão

b) Sistema de Desinfecção.

A desinfecção do efluente tratado é por um sistema de irradiação ultravioleta. Composto por três refletores de 15 lâmpadas cada um, com lâmpadas de 90 cm de comprimento e potência de 30 w, que perfazem uma capacidade de desinfecção de 43.7 m³/h. A manutenção das lâmpadas é feita sempre que é verificado baixa eficiência ou a cada 5 mil horas por orientação do fabricante.

A figura 4.7 nos mostra uma vista frontal do sistema ultravioleta.



Figura 4.7. Sistema Ultra Violeta e Lago de controle biológico.

c) Emissário de Efluente Tratado

Concluído o tratamento, o efluente final é enviado por bombeamento para o condomínio Costão Golf, onde ele é utilizado para irrigação dos campos de golf e áreas de jardinagem e paisagismo do condomínio. A elevatória situada dentro da ETE Costão do Santinho, é composta por duas bombas de 7,5 cv cada e emissário de 100mm em PAD.

d) Adensador de lodo

Anteriormente o deságüe do lodo era feito diretamente por leito de secagem, porém a demanda de retirada de lodo do sistema não era suportada por eles. Isto ocasionava um alto custo para a manutenção da ETE, pois o restante de lodo não suportado pelos leitos era enviado por caminhão limpa fossa para a empresa que efetuava o tratamento. Hoje para melhorar a eficiência dos leitos primeiramente o lodo retirado é enviado a um adensador onde em média é retirada 50% da umidade e

posteriormente enviado aos leitos. Esse novo procedimento reduziu de 21 dias de permanência do lodo nos leitos para apenas 7 dias em média.

Para a construção do adensador foram utilizados materiais reciclados da própria ETE. Ele é constituído de uma caixa d'água de 10 m³, uma bomba do tipo sapo de 3cv e uma talha para o controle da retirada do líquido clarificado. A operação do adensador é manual sendo que o operador envia o lodo e deixa-o sedimentar entorno de 12 horas, após este período o operador retira o clarificado de acordo com análise visual e posteriormente envia o lodo aos leitos.



Figura 4.8. Tanque de Adensamento de Lodo.

e) Leitos de secagem

A ETE Costão do Santinho possui um conjunto com 3 leitos de secagem de lodo, cada leito possui uma área de 45 m², com largura 5 metros por comprimento 9 metros, cobertura com telhas de fibra de vidro e altura livre de 1,5 metros para a circulação do vento. Os leitos são impermeabilizados no fundo e nas laterais por manta plástica, possuem uma camada drenante de 60 cm e altura útil de 55cm. O tratamento consiste em drenagem efetuada através da gravidade e evaporação que ocorre através da ação do sol e vento. A parte drenada é encaminhada a um poço de sucção, construído em uma cota inferior da cota dos leitos para encaminhamento por gravidade, e por pressão para a entrada do TAE. A figura 4.9 mostra um dos leitos de secagem.



Figura 4.9. Leitos de Secagem de Lodo

f) Caleação

Quando do momento da retirada do lodo dos leitos de secagem, é efetuada a caleação ou estabilização alcalina. O tratamento do lodo por caleação consiste em mistura homogeneia de 50% do peso seco do lodo em cal com o lodo retirado dos leitos. Essa mistura é efetuada em betoneira comum para concretagem, é gasto de 3 a 5 minutos na mistura completa do biossólido.

Para a completa maturação e desinfecção do biossólido ele é encaminhado a um local reservado e coberto onde o mesmo permanece de 30 a 60 dias. Como mostra a figura 4.10.



Figura 4.10. Local de Cura do Biossólido

A completa transformação do lodo secundário da estação em biossólidos se dá depois de efetuada a cura e confirmação da desinfecção do mesmo, com isso o biossólido será liberado para a utilização na jardinagem.

O biossólido depois de tratado será utilizado na arborização e paisagismo do condomínio.

4.2. TESTE DE CALEAÇÃO.

De acordo com as informações coletadas na fase de pesquisa bibliográfica, o lodo deve ser misturado com 50% de seu peso seco em cal para a completa desinfecção da mistura. Para a confirmação dos dados foi executado o seguinte teste.

Como teste inicial do processo, foi executado a mistura de cal virgem com o lodo levando-se em consideração;

- Utilizado betoneira de 500L para a mistura na caleação.
- Densidade do lodo: 1,2 g/cm³
- Umidade do lodo: 80%
- Densidade da cal: 3,35 g/cm³
- Mistura durante 5 minutos
- Proporção em volume segundo tabela 4.1.
- Colocado 10 baldes de 20 litros de lodo por batelada.

Para eluciadação do teste foi elaborado a tabela 4.1.

Tabela 4.1. Teste inicial de Caleação para acompanhamento do pH.

Proporção Em volume	Proporção em peso/peso seco	Volume de cal em baldes de 20 litros	pH inicial	pH 2 horas	pH 24 horas	pH 30 dias
0,0%	0,0%	0,0	4,87	5,80	6,50	6,66
7,5%	25%	0,75	9,90	9,15	8,74	7,20
10%	33%	1,0	12,68	12,53	11,54	9,44
15%	50%	1,5	12,98	12,74	12,66	9,54
20%	66%	2,0	13,06	13,08	12,90	11,44
30%	100%	3,0	13,25	13,22	13,08	12,48

As misturas foram separadas em montes abrigados da chuva, na caixa de cura do bio sólido. Para a coleta das amostras foi efetuado o reviramento da pilha para homogeneização.

Com base nos testes iniciais averiguou-se que a mistura de 50% do peso seco manteve a amostra com o pH acima de 12,0 durante 24 horas o que de acordo com a bibliografia encontrada já é possível higienizar o lodo respeitado o tempo de cura. Com 30 dias de cura foram coletadas amostras para análise qualitativa de ovos de helmintos, as proporções de 50%, 66% e 100% obtiveram êxito no tratamento não sendo encontrados ovos viáveis de helmintos, diferente das demais que além de serem encontrados ovos viáveis de helmintos foram

encontrados diversos outros possíveis patógenos. As análises foram realizadas em laboratório terceirizado.

Com os dados recolhidos e baseado nas bibliografias disponíveis foi decidido pelo tratamento do lodo com 50% do peso seco e lodo com umidade de 80%, como não há disponível no laboratório da ETE equipamentos para análise de umidade, ela será aproximada com análise visual, isso quer dizer rachaduras na superfície dos leitos de secagem formando blocos de aproximadamente 10 centímetros, como apresentado na figura 4.11.



Figura 4.11. Lodo com umidade adequada a Caleação.

4.3. QUANTIFICAÇÃO DO BIOSSÓLIDO GERADO.

Para a quantificação de quanto biossólido será gerado na ETE Costão do Santinho foram utilizadas as informações armazenadas no banco de dados da estação. Alguns dados da tabela foram ponderados devidos a falta dos mesmos. A tabela 4.2 mostra a quantidade de lodo gerado na ETE estudada.

Tabela 4.2. Quantidade de lodo gerado na ETE

mês	volume de lodo retirado do decantador	volume de lodo retirado do adensador	volume de lodo retirado com caminhão	volum e de lodo enviado aos leitos	volume de lodo desaguado dos leitos	peso seco do bioSSólido	quantida de de cal
	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(Ton.)	(Kg)
janeiro-09	429	x	429	0	0,00	0,000	0,00
fevereiro-09	358	x	308	50	12,50	3,000	1500,00
março-09	182	x	132	50	12,50	3,000	1500,00
abril-09	273	x	273	0	0,00	0,000	0,00
maio-09	170	x	110	60	15,00	3,600	1800,00
junho-09	51	x	11	40	10,00	2,400	1200,00
julho-09	150	x	88	62	15,50	3,720	1860,00
agosto-09	154	x	154	0	0,00	0,000	0,00
setembro-09	118	35,8	0	35,8	8,95	2,148	1074,00
outubro-09	168,2	61,8	22	61,8	15,45	3,708	1854,00
novembro-09	207,8	64,5	44	64,5	16,13	3,870	1935,00
dezembro-09	184	50,2	55	50,2	12,55	3,012	1506,00
janeiro-10	297,4	206,2	95,7	110,5	27,63	6,630	3315,00
fevereiro-10	318,2	214,5	129,4	85,1	21,28	5,106	2553,00
março-10	226	147,6	73,1	74,5	18,63	4,470	2235,00
abril-10	197,8	109,3	18,6	90,7	22,68	5,442	2721,00
maio-10	154,8	79	48,9	30,1	7,53	1,806	903,00
junho-10	146,2	51,8	15,1	36,7	9,18	2,202	1101,00
julho-10	197,8	87,8	27,9	59,9	14,98	3,594	1797,00
agosto-10	189,2	96,2	65,2	31	7,75	1,860	930,00
Totais	4172,4	1204,7	473,9	730,8	182,70	43,848	21924,00
Médias	208,62	100,391 67	59,2375	60,9	15,23	3,654	1827,00

4.4. NUTRIENTES PRESENTES NO BIOSSÓLIDO.

Com os resultados das análises do bioSSólido feitas em laboratórios é possível agora realizar um comparativo com as análises dos solos e a indicação agrônômica para a gramínea cultivada no empreendimento.

As indicações agrônômicas foram elaboradas pelo engenheiro agrônomo responsável pelo campo de golf, o qual contém grama Bermuda. É uma grama de folhas lineares, finas, lisas e perenes. Formando um colchão denso e macio, de cor verde vivo. Esta grama tem algumas características que a tornam apropriada para áreas de prática de esportes. Apresenta uma vantagem sobre a grama Esmeralda pelo fato de se regenerar muito rapidamente. A Grama Bermudas vem substituindo a grama Esmeralda nos campos de futebol dos grandes centros. Após o período chuvoso, o gramado danificado, recupera-se rapidamente. A cor verde bem vivo, o colchão macio e a recuperação rápida, tornam esta grama preferida para campos de futebol e golf. A alta resistência ao pisoteio a tornam indicada também para praças e playgrounds.

A tabela 4.3 nos mostra o comparativo de adubação para a grama bermuda, e análises de solo em três pontos do empreendimento.

Tabela 4.3. Comparação de nutrientes.

Macro Nutrientes						
	Solo G01 (ppm)	Solo G02 (ppm)	Solo G03 (ppm)	Adubo químico	Biossólido	Adubo orgânico Turfa
Nitrogênio	*	*	*	20%	1,07%	1,5%
Fósforo	>50,00	>50,00	>50,00	5%	0,037%	*
Potássio	37,00	36,00	40,00	20%	0,127%	*
Matéria Orgânica	4,00	3,70	3,80	*	35,4%	50%
Carbono	*	*	*	*	*	*
Cálcio	2,4	1,90	2,30	*	6,57%	*
Magnésio	0,30	0,10	0,40	*	0,482%	*
Enxofre	*	*	*	*	*	*
Umidade	*	*	*	*	31,3%	25%
pH	5,10	4,90	5,30	*	8,90	6,0
Micro Nutrientes (ppm)						
Sódio	*	*	*	*	401	*
Zinco	*	*	*	*	77	*
Cobre	*	*	*	*	68	*
Manganês	*	*	*	*	6,28	*
Ferro	*	*	*	*	0,03	*
Relação C/N	*	*	*	*	*	20/1
Boro	*	*	*	*	0,19	*

* Análise não realizada.

Como a grama já está plantada no empreendimento, foi elaborada apenas uma indicação agrônômica de manutenção, pois não será possível a incorporação antes do plantio. Alguns pontos devem ser levados em conta nas ponderações da indicação de fertilização, a indicação foi feita com base no adubo químico NPK 20-5-20, essa adubação tem dado resultados no local, a adubação através de

biofertilizantes deve ser feita pela indicação da quantidade de nitrogênio necessária a planta, a bibliografia consultada nos diz que respeitando esse parâmetro o biofertilizante é capaz de suprir a necessidade de micronutrientes do cultivo.

A indicação para esse tipo de cultura é de 20 a 50 g/m², dividida em três aplicações entre os meses de outubro a fevereiro de cada ano. Considerando que as aplicações, portanto sejam de 50g/m² uma saca de 50kg pode suprir as necessidades de uma área de 1000m² enquanto a adubação orgânica será necessário 667kg de turfa ou 935kg de biofertilizante.

Além dos nutrientes N, P, K outros fatores podem influenciar na escolha do fertilizante. Os fertilizantes químicos funcionam de maneira imediata, diferente da adubação orgânica que traz os nutrientes necessários as plantas liberando-os de forma lenta, adequado as necessidades das plantas. E também agregam ao solo características indispensáveis a manutenção da vida como formação da micro-fauna nas raízes responsáveis por transformar o nitrogênio na forma absorvível pelas plantas, manter a umidade e temperatura, dar a textura necessária ao desenvolvimento das raízes, disponibilizar micronutrientes, entre outros. O biofertilizante tratado com cal possui outra função a mais que os outros biofertilizantes: regular o pH do solo. A maioria dos solos brasileiros são ligeiramente ácidos, como os do empreendimento mostrado pelos resultados das análises. Com a aplicação do biofertilizante evita-se a necessidade de correção da acidez através de aplicação de calcário, economizando assim a verba para a compra de calcário e a mão de obra para a aplicação.

4.5. CONTAMINANTES NO BIOFERTILIZANTE.

Para a análise de contaminantes presentes no biofertilizante, foram observados os parâmetros constantes na legislação vigente. Segundo a resolução do CONAMA nº375 devemos analisar os metais pesados: Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Molibdênio, Zinco e Selênio, como indicadores de contaminação biológica foram considerados os seguintes: coliformes fecais, coliformes totais e ovos de helmintos.

A tabela 4.4 apresenta um comparativo das análises do biofertilizante com a legislação vigente.

Tabela 4.4. Tabela comparativa das características do Biossólido gerado (mg/kg, base seca)

METAIS PESADOS (mg/Kg)		
Contaminante	CONAMA nº 357	Biossólido
As	41	<0,6
Ba	1300	50
Cd	39	0,2
Pb	300	2,9
Cu	1500	68
Cr	1000	3,1
Hg	17	0,033
Mo	50	<0,6
Zn	2800	77
Se	100	<0,6
CONTAMINANTES BIOLÓGICOS		
Coliformes Fecais	<10 ³ NPM/g de SST	Ausente
Coliformes Totais		Ausente
Ovos de Helmintos	Ausência em 10g ST	Ausente

* Análise não realizada.

De acordo com as análises realizadas, o biossólido gerado está bem abaixo do que preconiza a norma vigente, alguns dos metais pesados não nem foram detectados nas análises e os detectados estão muito abaixo da legislação.

Como a tabela 4.2 mostra, a ETE se enquadra no primeiro quesito quanto à periodicidade de análises segundo a Resolução n.375 do CONAMA, a qual indica para UGL's que produzem até 60 toneladas em base seca de biossólidos análises anuais, preferencialmente anteriores a períodos de maior demanda. Através da experiência obtida na estação o período escolhido como base foi o mês de novembro.

Apesar das análises biológicas estarem de acordo com a legislação, para garantir a sanidade do biossólido as pilhas de acúmulos serão formadas em um período de um mês, e decorridos mais um mês de cura, serão feitas análises de ovos de helmintos e coliformes totais e fecais, e somente com o resultado sendo negativo serão liberados para utilização.

4.6. ANÁLISE FINANCEIRA.

Para a aceitação da mudança no tratamento do lodo da ETE, foi realizada uma análise financeira, comparando o Biossólido com o fertilizante químico utilizado e com o adubo orgânico também utilizado. Também faremos uma análise comparando os custos de destinação final atual e o custo do tratamento por Caleação.

O custo de um auxiliar de manutenção é R\$1500,00, para uma jornada de 44 horas semanais e considerando que o mês é composto por 4 e 2/7 de semanas, um trabalhador estará disponível por 188 horas por mês, sendo o custo por hora aproximadamente R\$8,00. Para efetuar a caleação em um leito com 2 m³ de lodo seco com umidade de 80%, são necessários 2 funcionários e um período de 1,5 horas, sendo assim, serão despendidas 3 horas de trabalho por leito, uma saca de 20 quilos de cal virgem custa R\$ 4,55 e são necessárias 10 sacas para os mesmos 2 m³ de lodo seco. O custo por metro cúbico de lodo tratado, portanto é de R\$34,75.

Para a disposição final em aterro sanitário serão necessários os serviços de locação de um container fechado para armazenamento de lodo, ao custo de R\$ 350,00 por mês por caixa de cinco metros cúbicos de capacidade volumétrica, considerando uma geração média 15,23m³ de lodo por mês, o custo do aluguel por metro cúbico será de R\$ 22,98. Os serviços de coleta e transporte dos resíduos de lodo de estação de tratamento de esgotos realizados por caminhão poliguindaste, devidamente licenciado, com frequência de acordo com a necessidade, ou seja, ocupação da caixa, a importância de R\$ 87,00 por metro cúbico coletado, sendo que os resíduos serão coletados na sede da estação de tratamento – Costão do Santinho/Florianópolis. Quanto aos serviços de destinação final dos resíduos em aterro sanitário devidamente licenciado, ao custo de R\$ 70,00 por tonelada, como a densidade do biossólido é aproximada 1,2 g/cm³, o valor a ser pago por metro cúbico será de R\$84,00. Portanto o total da opção tendo como destino final o aterro sanitário é de R\$193,98 por metro cúbico.

Parte do lodo em excesso hoje é encaminhado por caminhão limpa fossa a estação de tratamento regularizada para este fim. A despesa para este fim é de R\$300,00 por viagem do caminhão, sendo que o caminhão suporta 11 m³ de lodo hidratado. Como a umidade do lodo levada pelo caminhão é de em média 95% para compararmos os custos por metro cúbico de lodo à umidade de 80% retirado dos leitos

devemos considerar que o caminhão levará 2,75m³ de lodo desidratado, ao valor de R\$109,09 por metro cúbico de lodo desidratado.

Comparando as três formas de destinação, fica clara a superioridade econômica do tratamento por Caleação. Em vista da destinação em aterro ela é aproximadamente 5,5 vezes menor, e confrontando com a retirada de lodo hidratado por caminhão é mais que 3 vezes maior. Levando em conta apenas o tipo de destinação final fica evidente a necessidade de aumentar-se a capacidade de tratamento de lodo na ETE, pois esta deve ser a melhor opção de tratamento de lodo fazendo com que quase a totalidade do efluente seja reciclado no local de produção e gerando quase zero de rejeito.

O custo do tratamento não é o único que deve ser observado, pois o bio sólido produzirá também uma economia em fertilizante para a empresa, estudo abordado a seguir.

O fertilizante químico NPK 20-5-20 tem um custo de R\$65,00 a saca de 50kg. Como já mencionado anteriormente o equivalente em turfa é 667 kg, o valor da saca de 50kg de turfa é R\$25,00 sendo necessárias 13,34 sacas para igualar a quantidade nitrogênio, gerando um valor final de R\$333,50. Equiparando a quantidade de nitrogênio serão utilizados 935 kg de bio sólido. Para produzir essa quantidade bio sólido são gastos R\$32,49.

A produção média mensal de bio sólido é de 15,23 m³. Nessa produção são gastos R\$529,25, a mesma quantidade de nitrogênio na adubação química terá um custo de R\$1058,77 e a Turfa gera uma despesa de R\$5432,30. Novamente fica evidenciada a escolha a ser tomada, isso sem considerar os outros benefícios relacionados anteriormente para a manutenção da vida no solo. A economia gerada por mês, considerado que toda a produção de bio sólido seja absorvida no empreendimento, em relação à adubação orgânica utilizada é de R\$4903,05 e em relação à adubação química é de R\$520,52.

Embasado financeiramente no exposto acima são evidentes as vantagens da disseminação dessa tecnologia e, portanto, a necessidade na mudança do tratamento.

4.7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.

A escolha, para a destinação final dos resíduos gerados, deve estar embasada em um conjunto de critérios, a maioria de cunho científico visando à melhores tomadas de decisão. Critérios como os ecológicos, sociais e sanitários tem sido deixados de lado pelas

empresas em detrimento dos critérios financeiros, ou seja, a sociedade tem sofrido duras penas a favor do interesse econômico.

No estudo em questão, é mostrado que pensando globalmente torna-se possível modificar o processo de produção para minimizar os riscos de poluição e degradação, podendo em alguns casos até gerar uma redução nas despesas e quem sabe futuramente lucro. A pesquisa e a busca de novas tecnologias, a aceitação e implementação das mesmas são fundamentais para solucionar as questões ambientais e a melhoria da qualidade de vida das pessoas..

A reciclagem de lodo de ETE, pode trazer muitos benefícios para a sociedade como um todo, transformando esse resíduo em um produto utilizável. Muitas são as formas para aproveitar esse insumo, pois é de conhecimento de todos que a matéria orgânica é uma fonte de vida para o solo, e o lodo é constituído de 40% a 60% de matéria orgânica. Ações conjuntas entre Companhias de Saneamento, Governo, Agricultores e Sociedades devem ser tomadas para que essa tecnologia seja difundida pelo Brasil. Essa difusão trará uma grande economia, e os recursos economizados podem ser usados para a ampliação das redes de saneamento que são tão precárias pelo País.

O biossólido gerado é um poderoso fertilizante orgânico, possuindo os micros e macronutrientes necessários as plantas, além de acrescentar ao solo características melhores para o desenvolvimento das mesmas, como aeração do solo, retenção da umidade e desenvolvimento de microorganismos que auxiliam a planta na absorção de nutrientes. Além de ser um biossólido seguro a aplicação, pois não possui indícios de patógenos.

No entanto vale ressaltar novamente, que resolução do CONAMA n. 375 deve ser respeitada, pois se forem observados os critérios e normatizações, ficam reduzidos praticamente todos os riscos de acidentes ambientais.

Apesar de relativamente simples o processo de caiação do lodo deve ser realizado com cuidados, para evitar-se acidentes de trabalho. Os trabalhadores envolvidos necessitam contar com materiais e equipamentos de segurança necessários.

A adequação do laboratório trará incontáveis benefícios, agilizando o processo, viabilizando um controle ambiental e do processo em um grau mais elevado, minimizando assim riscos e inconvenientes.

A umidade do lodo é um fator que deve ser observado com muita atenção, pois ela é o ponto chave para conseguir uma mistura ao mesmo tempo homogeneia e com boa trabalhabilidade na aplicação posterior no solo. Para a melhoria da aparência do biossólido, pode-se

antes da aplicação no empreendimento triturá-lo em um moinho simples, para alcançar uma granulação mais fina, sendo incorporado mais rapidamente no solo e dando uma aparência mais aceitável quando aplicado.

Aconselha-se a construção de um novo conjunto de leitos, mais um adensador e um pátio impermeabilizado amplo para trabalhar com o biossólido.

Recomenda-se também, um programa de treinamento para os operadores da ETE e todos aqueles que trabalharam com o biossólido, mostrando os benefícios da reciclagem, os riscos e a importância.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, Cleverson V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. PROSAB, ABES. Rio de Janeiro, 2001.

ANDREOLI, Cleverson V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. SANEPAR, PROSAB. Curitiba, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos** - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BETTIOL, W. , CAMARGO, Otávio A. **Lodo de Esgotos: Impactos ambientais na agricultura**. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna 2006. 346p.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com esgotos**. In: AGENDA 21. Brasília, 1995.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação (Norma P4.230)**. São Paulo: CETESB, 1999.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Biossólidos na Agricultura**. Tsutiya, M.T., COMPARINI, J.B.; ALÉM SOBRINHO, P.; HESPANHOS, H.; CARVALHO P.C.T; MELFI, A. J; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. São Paulo:SABESP, 2001.

CONAMA, Ministério do Meio Ambiente **RESOLUÇÃO No 375 , DE 29 DE AGOSTO DE 2006.**

CRITES, R. , TCHOBANOGLOUS, G. (. **Tratamiento de águas residuales en pequenas poblaciones.** McGraw-Hill, Colombia, 2000. 776 pp.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Control of Pathogens and Vector Attraction.** In: Sew age Sludge: Under 40 CFR Part 503. EPA 625/R-92/013. Washington, D.C, 1992.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Process Design Manual. Land Application of Sewage Sludge and Septage.** EPA/625/R95/001 (1995). Municipal Environment Research Laboratory. Washington, D.C, 1979.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Land application of biossolids: process design manual.** Estados Unidos, Cincinnatti, 1997.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Biossolids generation, use, land disposal in The United States.** EPA 530-R-99-009, 1999.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Desing Manual. Dewatering municipal wastewater sludges.** U.S. Environmental Protection Agency. 193pp, 1987.

FARIAS, Luiz Carlos de, RODRIGUES, Luiz Carlos Estraviz. **Demanda Potencial por Bissólidos em Povoamentos de Eucalipito no entorno da ETE de Barueri,SP.** ABES vol. 6 n.3 jul/set 2001 n.4 out/dez 2001.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

LESTER, J. N., et al. **Significance and behavior of heavy metals in wastewater treatment process. II. Sludge treatment and disposal**. The Science of the Total Environment , v.30, p.45-83, 1983.

MANZOCHI, Clarice Lize Schwarz. **LOGÍSTICA PARA TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE LODOS DE ETE'S VISANDO RECICLAGEM AGRÍCOLA**. Tese de Doutorado em Engenharia Ambiental UFSC, Florianópolis 2008.

PEGORINI, Eduardo Sabino. **Avaliação de impactos ambientais do programa de reciclagem agrícola de lodo de esgoto na região metropolitana de Curitiba**. Dissertação de mestrado. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002.

PELEGRINO, Eloá Cristina Figueirinha; VIDAL, Carlos Magno de Souza; SOUZA, Jeanette Beber de. **Avaliação da Qualidade Final de Biossólido Proveniente do Processo de Compostagem**. In:Simpósio Italo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental,10 , 2010. Anais eletrônicos: Maceió, ABES, 2010, CD-ROM.

SANTOS, Camilla do Socorro Siqueira dos.; CARNEIRO, Bruno Santana.; MEDEIROS, Araelson Campelo.; SOUSA, Maria Lopes de. **Determinação de Metais Pesados na Fase Líquida da Estação de Tratamento de Esgotos do Instituto Evandro Chagas**. In:Simpósio Italo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental,10 , 2010. Anais eletrônicos: Maceió, ABES, 2010, CD-ROM.

SPERLING, Marcos Von (org.). Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias- volume 6: **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Departamento de Engenharia Sanitaria e Ambiental-UFMG. Belo Horizonte, 2001.

ROCHA, Ana Lúcia Corales Lopes; ALMEIDA, Rogério de Araujo; SILVA, Maura Francisca da; NOVAIS, Denise Birini Botelho. **Higienização de lodo anaeróbico de esgoto sanitário por meio alcalino.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife. Anais eletrônicos: Recife, ABES, 2009, CD-ROM.

VAN HAANDEL, A.C., LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos.** Um manual para regiões de clima quente. 1994.

WEF – Water Environmental Federation. **Waste water residuals stabilization – manual of practice FD-9.** Alexandria, USA, 244p, 1995.